PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 21 — 1. November 1942 — Redaktionsschluß für Nr. 22 am 1. November 1942 — 43. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

H. Korte und R. Bünnagel, Über die spektrale Energieverteilung der Lumineszenz einiger Luminophore. S. 437.

A. Scheibe und U. Adelsberger, Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich $10^{h}\ 40^{min}$ für August 1942. S. 439.

Berichte:

K. Diebner, W. Herrmann und E. Grassmann, Absorption und Streuung von Neutronen. S. 440.

Abhandlungen:

K. Wirtz, Bestimmung des spezifischen Gewichts und der Konzentration von schwerem Wasser. S. 465.

Besprechungen. S. 469.

Nachrichten. S. 472.

ABHANDLUNGEN

Über die spektrale Energieverteilung der Lumineszenz einiger Luminophore

Von H. Korte und R. Bünnagel

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

Um für die visuelle Photometrie von Leuchtfarben geeignete Filter zu finden, die aus der Strahlung einer Glühlampe bestimmter Farbtemperatur die spektrale Energieverteilung der Leuchtstoffe herausfiltern, sind die Energieverteilungen verschiedener Luminophore gemessen worden. Bei den geringen Leuchtdichten der durch radioaktive Zusätze angeregten Leuchtfarben ist eine möglichst genaue spektrale Angleichung des gefilterten Vergleichslichtes an das der Leuchtfarben notwendig, um bei der visuellen Messung Fehler zu vermeiden, wie sie durch die Verschiebung der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges entstehen können.

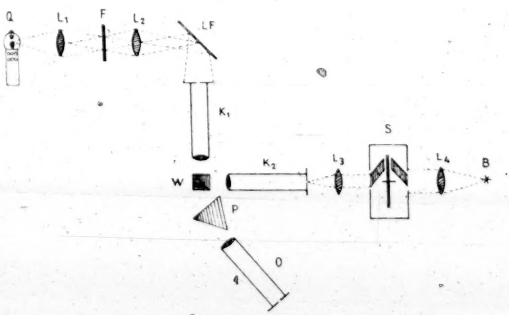

Abb. 1. Anordnung zur Messung der Energieverteilung.

Q = Quecksilberlampe, L_1, L_2, L_3, L_4 = Abbildungslinsen, F = UV-Filter, LF = anzuregender Luminophor, K_1, K_2 = Kollimator 1 und 2 des Photometers, W = Photometerwürfel, P = Dispersionsprisma, O = Okular des Photometers, S = im Lauf verstellbarer Sektor, B = Vergleichsleuchtdichte.

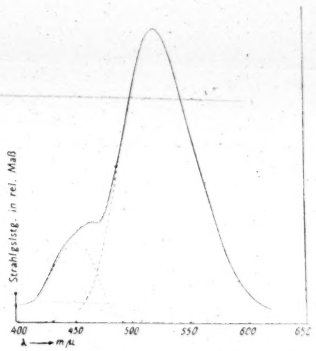

Abb. 2a. Grüner Luminophor.

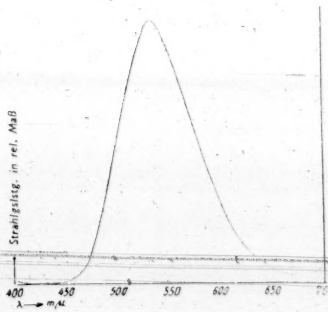

Abb. 2b. Gelber Luminophor.

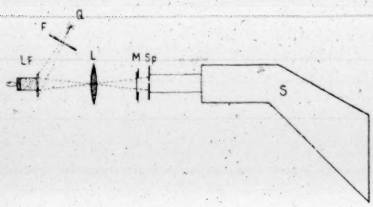

Abb. 3. Anordnung zur Aufnahme der Fluoreszenzspektren.
Q = Quecksilberlampe, F = UV-Filter, LF = Luminophor, L = Abbildungslinse, M = Momentverschluß, Sp = Spalt des Spektrographen, S = Spektrograph.

Über die Anpassungsfilter wird später berichtet werden. In dieser Abhandlung soll nur die Messung der Energieverteilung beschrieben werden.

Die Messung der spektralen Energieverteilung ist bei Anregung durch α-Teilchen nur sehr schwer möglich, weil die zur Verfügung stehenden Leuchtdichten zu gering sind. Deswegen sind die Leuchtfarben für die Messung mit dem Ultraviolett einer Quecksilberhochdrucklampe Osram HBO 501, das durch Vorsetzen von Schottschen UG-Gläsern von dem sichtbaren Licht getrennt wurde, angeregt worden und dann mit dem Spektralphotometer nach Lummer-Brodhun gegen die bekannte Energieverteilung eines Wolframbandes gemessen worden. Die Meßanordnung ist in Abb. 1 wiedergegeben.

Die relativen spektralen Energieverteilungen eines grün und eines gelb leuchtenden Zinksulfidphosphors, die sich ergeben haben, sind in der Abb. 2 enthalten.

Es sollte aber nicht eine Angleichung an durch Ultraviolett angeregte Luminophore erreicht werden, sondern an radioaktiv angeregte. Deshalb war zu klären, ob die Anregung durch α-Teilchen und durch Ultraviolett dasselbe Spektrum liefert. Zu diesem

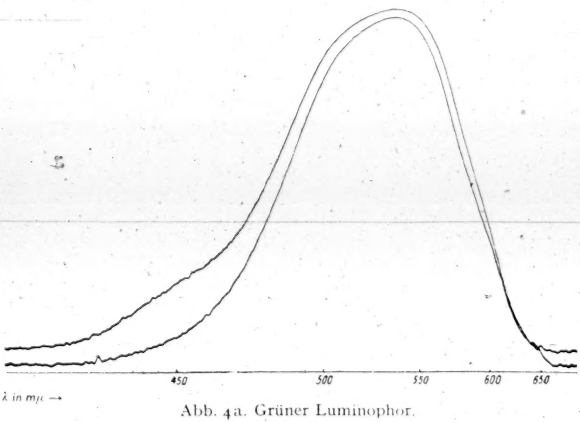

Abb. 4a. Grüner Luminophor.

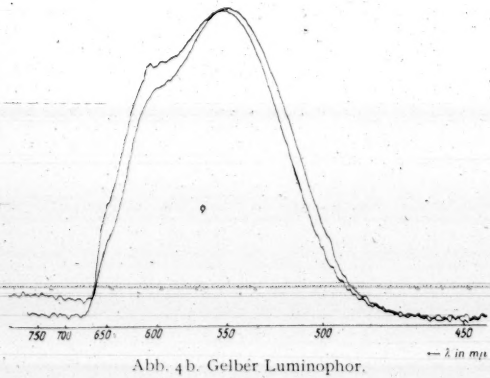

Abb. 4b. Gelber Luminophor.

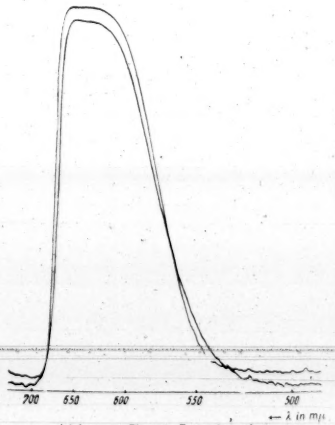

Abb. 4c. Roter Luminophor.

Zweck ist mittels eines Spektrographen das durch UV-Anregung erzeugte Spektrum und auf dieselbe Platte das durch α-Teilchenanregung gewonnene Spektrum photographiert worden, wobei Sorge getragen worden ist, daß das „α-Teilchen-Spektrum" schwärzungsmäßig eingeschachtelt wurde, um die Eigenschaften der Aufnahmeplatte weitgehend zu eliminieren. Abb. 3 zeigt schematisch die Apparatur. Das Spektrum der radioaktiv angeregten Leuchtfarbe wurde in der Weise aufgenommen, daß die Leuchtfarbe direkt vor den Spalt des Spektrographen gebracht wurde.

Die gewonnenen Aufnahmen der Spektren sind dann mit einem Registrierphotometer ausgemessen worden. Abb. 4 zeigt solche Registrierkurven.

Es ist auffällig, daß bei dem grün leuchtenden Zinksulfid-Kupfer-Phosphor (Abb. 4a) die beiden Kurven, die sonst nahezu den gleichen Verlauf haben, im Blauen deutlich voneinander abweichen, und zwar zeigt das durch α-Teilchenanregung gewonnene Spektrum den glatteren Verlauf. Die mittels UV. gewonnene Energieverteilung, auch die visuell gemessene, zeigt im Blauen eine eigenartige Ausbuchtung. Denkt man sich die Energieverteilung, die durch UV-Anregung erzeugt wird (siehe Abb. 2a), im Blauen glatt abfallend wie bei der Anregung durch α-Teilchen und subtrahiert die entsprechenden E_λ voneinander, so entsteht als „Erzeugende" der Ausbuchtung eine Bande, die mit der β-Bande des Zinksulfid-Kupfer-Phosphors übereinstimmt, wie sie von Lenard und Tomaschek angegeben wird. Nicht bei allen untersuchten Luminophoren war im sichtbaren Spektralgebiet etwas ähnliches festzustellen. Um zu klären, ob die Abweichung der beiden Spektren nicht durch gestreutes Licht des kontinuierlichen Untergrundes der zur Erregung verwendeten Lichtquelle hervorgerufen wird, wurde ein Gegenversuch mit der Anordnung in Abb. 3 gemacht. Es wurde an die Stelle der Leuchtfarbe ein Magnesiumoxydschirm gebracht und das Spektrum photographiert. Dabei ergaben sich nur die Quecksilberlinien.

Bei der Anregung durch α-Teilchen wird also nach diesem Befund die β-Bande nicht angeregt, jedoch bei Anregung durch ultraviolettes Licht, eine Tatsache, die kaum zu erwarten war.

Für die Angleichung der Energieverteilung einer Glühlampe mittels einer Filterkombination an die Energieverteilung einer Leuchtfarbe ist also die durch UV. gewonnene Kurve nicht ohne weiteres zu verwenden. Es ist auch nicht zulässig, die Güte der Angleichung dadurch zu prüfen, daß bei UV-Anregung der Farbunterschied im Gesichtsfeld betrachtet wird.

Die Unterschiede der beiden Energieverteilungen (Anregung durch α-Teilchen und durch UV.) ergeben einen merklichen Farbunterschied.

Berlin-Charlottenburg, August 1942.

(Eingegangen 27. August 1942)

Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich $10^h\ 40^{min}$ *)

Die Zahlen der Spalten 2 geben an, um wieviel in 10^{-9} des Wertes der Betrag der ausgestrahlten Frequenz vom Sollwert 1 000,000 000 Hz abweicht. Die Abweichung wurde mittels der Quarzuhren der Reichsanstalt bestimmt.

1	2	1	2
August 1942		August 1942	
Tag	Abweichung	Tag	Abweichung
1.	— 11	17.	— 22
2.	—	18.	— 23
3.	— 8	19.	— 22
4.	— 17	20.	— 18
5.	— 29	21.	— 19
6.	— 33	22.	— 15
7.	— 23	23.	—
8.	— 23	24.	+ 1
9.	—	25.	— 1
10.	— 28	26.	+ 9
11.	— 21	27.	— 7
12.	— 23	28.	— 19
13.	— 24	29.	— 5
14.	— 19	30.	—
15.	— 13	31.	+ 1
16.	—		

*) Bis zum 15. August erfolgte die Aussendung noch zum alten Zeitpunkt $10^h\ 45^{min}$

Berlin-Charlottenburg, den 8. September 1942.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Abteilung II.

Im Auftrage:
A. Scheibe, U. Adelsberger

BERICHTE

Absorption und Streuung von Neutronen

(Ergebniszusammenstellung)[1])

Von K. Diebner, W. Herrmann und E. Grassmann

Die große Zahl der auf diesem Gebiete ausgeführten Arbeiten und die Tatsache, daß neuere ausländische Literatur zur Zeit nicht überall leicht zugänglich ist, lassen eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse über die Eigenschaften von Neutronen gerechtfertigt erscheinen. Wegen der durch die notwendige Übersichtlichkeit bedingten räumlichen Beschränkung soll hier nur über Arbeiten referiert werden, die den Durchgang von Neutronen durch Materie und zwar speziell Absorption und Streuung von Neutronen behandeln. Auf die bei einigen schweren Elementen beim Neutronenbeschuß beobachteten Spaltungsprozesse wird im Rahmen dieser Zusammenstellung nicht näher eingegangen.

Als Maß der durch Absorption oder Streuung hervorgerufenen Änderung der Neutronenintensität wird nur selten der Neutronenabsorptionskoeffizient verwendet, meist gibt man dafür den Wirkungsquerschnitt der durchstrahlten Substanz an. Man versteht darunter den geometrischen Querschnitt, der zur Erklärung einer gegebenen Intensitätsänderung den Atomen der Substanz zugeordnet werden müßte, wenn alle (punktförmig gedachten) Neutronen, die den Kern treffen, einen Absorptions- oder Streuprozeß auslösen.

Absorption von Neutronen liegt vor, wenn Neutronen von Atomkernen der durchstrahlten Materieschicht eingefangen werden, also für die Gesamtintensität des durchgehenden Strahles ausfallen. Dabei gehen Kernprozesse vor sich, die entweder unter Aussendung von Gammaquanten zu stabilen oder instabilen neuen Kernen führen (Einfangprozesse) oder bei denen die Bildung eines neuen Kernes unter Aussendung von Korpuskularteilchen (α, p, $2n$..) erfolgt (Nichteinfang- oder Austauschprozesse). Die Wirkungsquerschnitte für die Neutronenabsorption sind bei schnellen Neutronen, deren Energie von $\sim$0,1 bis mehrere MeV beträgt, von der Größenordnung der geometrischen Kernquerschnitte (10^{-24} cm^2). Im Bereich von einigen hundert bis $\sim$0,1 eV sind für viele Elemente diskrete Neutronenenergien (Resonanzneutronen) nachgewiesen worden, für die die Absorptionsquerschnitte sehr hohe Werte annehmen (Resonanzabsorption). Endlich tritt im Gebiet thermischer Neutronen, deren Energie von der Größenordnung 0,01 eV ist, mit fallender Neutronenenergie ein Wachsen der Absorptionsquerschnitte auf, das bei einigen Elementen, z. B. *Li*; *B*, quantitativ durch ein $1/v$-Gesetz (v = Neutronengeschwindigkeit) wiedergegeben werden kann. [Messungen von Fertel u. a. (301) stellen allerdings für *B* die Gültigkeit des $1/v$-Gesetzes in Frage.] Wenn im Gebiet thermischer Neutronen eine Resonanzstelle eines Elementes liegt, können die gemessenen Absorptionsquerschnitte außerordentlich stark anwachsen.

Streuung von Neutronen nennen wir die Vorgänge, bei denen die Neutronen beim Durchgang durch Materie ihre Richtung und Energie ändern, aber die beteiligten Atomkerne nicht umwandeln. Man spricht von elastischer Streuung, wenn von den Neutronen nur kinetische Energie auf die Kerne übertragen wird, von unelastischer Streuung, wenn die streuenden Kerne dabei angeregt werden und diese die Anregungsenergie als Gammastrahlung wieder abgeben. Ebenso wie die Absorptionsquerschnitte sind auch die Streuquerschnitte der einzelnen Elemente verschieden und auch stark von der Neutronenenergie abhängig.

Eine Beschreibung der Meßmethoden, mit denen die im folgenden angeführten Werte erhalten worden sind, würde den Rahmen der vorliegenden Zusammenstellung überschreiten. Einzelheiten findet man in den vorhandenen Zusammenfassungen über Neutronen (z. B. I–XIII). Hier soll nur bemerkt werden, daß das Gewicht der angegebenen Werte sehr verschieden ist, nicht nur weil die Daten von verschiedenen Verfassern nach verschiedenen Methoden erhalten worden sind, sondern auch weil einmal die Wirkungsquerschnitte sich sehr mit der Neutronenenergie ändern, andererseits nur in den seltensten Fällen die Möglichkeit besteht, mit Neutronen einer bestimmten Geschwindigkeit, also mit monokinetischen Neutronen, zu arbeiten. Eine wertmäßige Beurteilung der im folgenden zusammengestellten Ergebnisse ist aus diesen Gründen nicht vorgenommen.

Bei langsamen Neutronen ist zu beachten, daß sich außerdem die Wirkungsquerschnitte verschiedener Modifikationen eines Elementes

1) In der vorliegenden Abhandlung ist die Literatur nur bis 1940 berücksichtigt. Eine Ergänzung mit den neueren Ergebnissen erscheint in Kürze in dieser Zeitschrift.

oder einer Verbindung stark unterscheiden können [z. B. (163, 281, 312, 313)], ebenfalls kann ein Element in verschiedenen chemischen Verbindungen verschiedene Wirkungsquerschnitte zeigen, d. h. die Wirkungsquerschnitte von Verbindungen sind nicht additiv aus denen der Elemente zu berechnen [z. B. (167, 190, 292, 312)].

In der folgenden Zusammenstellung werden bei den einzelnen Elementen, die nach ihrer Kernladungszahl geordnet sind, zuerst die Reaktionsgleichungen der bei der Absorption der Neutronen eintretenden Kernumwandlungen mit den dabei festgestellten Besonderheiten angeführt, darunter sind die bei den verschiedenen Neutronenenergien gemessenen Wirkungsquerschnitte angegeben. Allgemein sind die Wirkungsquerschnitte für das darüberstehende Element berechnet und gelten, wenn nicht anders bemerkt, für die natürliche Isotopenmischung. Hinter dem Symbol für den Wirkungsquerschnitt angeführte Formeln geben die betreffende Verbindung des Elementes an, mit der die Untersuchung durchgeführt wurde. Davorstehende Formeln bedeuten dagegen, daß der Wirkungsquerschnitt für die betreffende Verbindung gemessen und berechnet ist und den Wirkungsquerschnitt der Verbindung selbst darstellt. Hinter der Angabe des Wirkungsquerschnitts ist die Energie der zu den Messungen verwendeten Neutronen bzw. die ihrer stärksten Gruppe in eV oder zu ihrer Charakterisierung die ihr entsprechende Neutronentemperatur oder auch die Abkürzung der verwendeten Neutronenquelle bzw. der Stoff, dessen Resonanzneutronen verwendet wurden, angegeben. Alle Wirkungsquerschnitte sind noch mit 10^{-24} zu multiplizieren und haben die Dimension cm^2.

Zur Vereinfachung werden folgende Abkürzungen verwendet:

E = Energie eines betrachteten Teilchens.
E_n = Neutronenenergie.
A_x = Absorptionskoeffizient der Neutronen im Stoffe X.
σ = Gesamtwirkungsquerschnitt der Neutronen.
σ_s = Gesamtstreuquerschnitt.
σ_a = Absorptionsquerschnitt.
σ_{sp} = Wirkungsquerschnitt von Spaltungsprozessen.

Die benutzte Literatur ist am Schluß der Arbeit zusammengestellt. Hinweise im Text sind durch laufende Nummern in runder Klammer gekennzeichnet. Literaturstellen, in denen die Meßergebnisse nur in Form von Relativwerten oder Kurven vorliegen, sind nicht angeführt.

Die Daten sind wie folgt zu lesen:

Wasserstoff

Seite 441: $\sigma\,(HO_{\frac{1}{2}}) = 1{,}74 \pm 0{,}05$ (*Li-D*) (137).

Der mit *Li-D*-Neutronen an Wasser gemessene und für Wasserstoff berechnete Gesamtwirkungsquerschnitt beträgt

$$1{,}74 \pm 0{,}05 \cdot 10^{-24}\ cm^2;$$

die entsprechende Literaturstelle ist im Verzeichnis unter Nr. 137 zu finden.

Seite 441: $\sigma = 2{,}41 \ldots 2{,}74 \pm 1{,}0$ (*D-D*; 2,1—2,8 MeV) (139).

Mit *D-D*-Neutronen, deren Energie zwischen 2,1 und 2,8 MeV liegt, wurden mehrere Werte für den Gesamtwirkungsquerschnitt des darüber stehenden Elementes Wasserstoff bestimmt. Es ergeben sich Werte zwischen 2,41 und $2{,}74 \cdot 10^{-24}\ cm^2$.

Seite 442: $(H_2O)\ \sigma_s = 16{,}4$ (*Ag*; *J*) (275).

Der mit *Ag*- und *J*-Resonanzneutronen gemessene Streuquerschnitt für Wasser wurde zu $16{,}4 \cdot 10^{-24}\ cm^2$ bestimmt.

Seite 442: $(H_2O)\ \sigma = 91{,}2$ ($\sim 300°\ K$) (79).

Der Gesamtwirkungsquerschnitt des Wassers für Neutronen, deren Energie einer Temperatur von 300° *K* entspricht, ist $91{,}2 \cdot 10^{-24}\ cm^2$.

Bor

Seite 443: $A_B = 0{,}2$ (*Ag*; 2,3 min).

Der Absorptionskoeffizient von Bor ergab sich mit Neutronen, die die 2,3 min Silberaktivität hervorrufen, zu 0,2.

Seite 443: $A_B = 30{,}0$ (*C*-Neutronen; *Rh*).

Der Absorptionskoeffizient von Bor ergab sich mit *C*-Neutronen und Rhodium-Resonanzneutronen zu 30,0.

Wasserstoff

$_1H$-(n,γ) Prozesse

$$_1^1H + {}^1n = {}_1^2D + \gamma$$

$E\gamma = 2{,}26$ MeV (21). $E\gamma = 2{,}2$ MeV (22).

$_1H$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 0{,}61$ (*Li-D*; ~ 15 MeV) (136).
$\sigma\,(HO_{\frac{1}{2}}) = 1{,}74 \pm 0{,}05$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(C_{22}H_{46}) = 2{,}32 \pm 0{,}09$ } (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
$\sigma\,(H_2O) = 2{,}40 \pm 0{,}09$ }
$\sigma = 2{,}41 \ldots 2{,}74 \pm 1{,}0$ (*D-D*; 2,1–2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(HC_{\frac{1}{2}}) = 2{,}28 \pm 0{,}09$ } (*D-D*; 2,38–2,50 MeV)
$\sigma\,(HO_{\frac{1}{2}}) = 2{,}28 \pm 0{,}09$ } (137).

$\sigma_s \sim 1$ (20°); $\sigma_s \sim 1{,}3$ (40°); $\sigma_s \sim 1{,}2$ (60°) – (*D-D*) (140).
$\sigma = 5{,}0 \pm 1{,}0$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
σ (CH_2) = 3,3 (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$\sigma = 35$ [38] (langsame Neutronen) (7).
σ (C_nH_{2n+2}) = 47,5 (langsame Neutronen) (42).
σ_s (C_nH_{2n+2}) = 47,5 (langsame Neutronen) (42).
σ (Paraffin) = 20 ± 2 (*Ag*; *Jn*; *Rh*) (274).
σ_s (H_2O) = 14,8 (*Ag*; *J*) (143, 275).
σ ($C_{22}H_{46}$) = 20 ± 2 (*Rh*) (144, 145).
$\sigma_A = 0{,}27 \pm 0{,}02$ (thermische Neutronen; $2{,}2 \cdot 10^5$ ms^{-1}) (76).
σ (H_2) = 32,0 (~ 300° *K*) (135).
σ (H_2) = 5,2 (Spaltungsneutronen des Urans) (nach einer privaten Mitteilung von F. Kirchner).
σ (H_2O) = 43,6 (~ 300° *K*) (79).
σ (H_2) = 35 (~ 300° *K*) (80).
σ (CH_4) = 45 (~ 300° *K*) (80).
σ (H_2 flüssig) = 24,0 (~ 300° *K*) (135).
σ (H_2O) = 56 (~ 120° *K*) (79).
σ (oH_2) = 22 ± 4 (~ 300° *K*) (146).
σ (pH_2) = 22 ± 4 (~ 300° *K*) (146).
σ (oH_2 flüssig) = 56 (~ 300° *K*) (79).
σ (pH_2 flüssig) = 29 (~ 300° *K*) (79).
σ (oH_2) = 39 ± 5 (130° *K*) (147).
σ (pH_2) = 10 ± 4 (130° *K*) (147).
σ (oH_2) = 39 ± 5 (130° *K*) (146).
σ (pH_2) = 19 ± 4 (130° *K*) (146).
σ (oH_2 flüssig) = 79 (~ 120° *K*) (79).
σ (pH_2 flüssig) = 18 (~ 120° *K*) (79)

Wirkungsquerschnitte von Wasserstoffverbindungen:

(H_2O) σ_s = 16,4 (*Ag*; *J*) (275).
(H_2O) $\sigma = 37{,}5 \pm 3$ (*C*-Neutronen) (nach einer privaten Mitteilung von W. Riezler).
(H_2O) σ = 91,2 (~ 300° *K*) (79).
(H_2O) σ = 116 (~ 120° *K*) (79).
(*HDO*) σ = 54 [additiv: 54,5] (*C*-Neutronen) (312).

Änderung des Wirkungsquerschnittes mit der vorhandenen Bindung:

σ (CH_4) = 45,5 (300° *K*) (135).
σ (C_2H_6) = 46,6 (300° *K*) (135).
σ (C_3H_8) = 47,1 (300° *K*) (135).
σ (C_4H_{10}) = 50,0 (300° *K*) (135).
σ ($C_{22}H_{46}$) = 50,7 (300° *K*) (135).

Deuterium

${}_1D$- (*n*,-) Prozesse

1. ${}^2_1D + {}^1_0n = {}^3_1H + \gamma$ (278).
2. ${}^2_1D + {}^1_0n = {}^1_1H + {}^2_0n$.

Gleichung 1. $\sigma = 2 \cdot 10^{-4}$; $\sigma_{max} = 3 \cdot 10^{-4}$ (278).
Gleichung 2. $\sigma_A = (3 \pm 0{,}5\text{–}2) \cdot 10^{-1}$ für $E_n > 3{,}5$ MeV (nach einer privaten Mitteilung von E. Bagge).

${}_1D$-Wirkungsquerschnitte

σ (D_2O) = $1{,}68 \pm 0{,}07$ (*Li-D*) (137).
σ (D_2O) = $2{,}17 \pm 0{,}08$ (*D-D*; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
σ (D_2O) = $1{,}98 \pm 0{,}10$ (*D-D*; 2,38 – 2,50 MeV) (137).
σ (D_2O) = $2{,}10 \ldots 2{,}25 \pm 1{,}0$ (*D-D*; 2,10–2,8 MeV) (139).
σ (D_2O) = 4,0 (langsame Neutronen) (7).
σ_s (D_2O) = 7 (langsame Neutronen) (42).
σ_A kleiner 0,03 (thermische Neutronen) ($2{,}2 \cdot 10^5$ ms^{-1}) (76).
σ_A (D_2O) = $(1{,}1 \pm 2{,}3) \cdot 10^{-3}$ (thermische Neutronen) (nach einer privaten Mitteilung von R. Döpel und W. Heisenberg).
$\sigma_s = 5{,}7$ (thermische Neutronen) (276).

Wirkungsquerschnitte von *D*-Verbindungen:

(D_2O) σ = 16 (*C*-Neutronen) (312).
(*DHO*) σ = 54 [additiv: 54,5] (*C*-Neutronen) (312).

Helium

${}_2He$-Wirkungsquerschnitte

Für Rückwärtsstreuung ist das Verhältnis $\sigma_s(He)/\sigma_s(H)$:

$1{,}8 \pm 0{,}4$ (2,4 MeV)
$1{,}4 \pm 0{,}3$ (2,2 MeV)
$6{,}5 \pm 0{,}8$ (1,2 MeV)
$9{,}5 \pm 1{,}4$ (1,0 MeV)
$0{,}4 \pm 0{,}2$ (0,5 MeV)

Die Werte sind im Original noch bis zu höheren Neutronenenergien angegeben. (148, 149).

Resonanzstreumessungen von 0,6–2,0 MeV (277).
Streuquerschnittsmessungen (279), siehe auch (316).

σ (*He*) = 1,51 (300°) (135).

Lithium

${}_3Li$- (*n*,-) Prozesse

1. ${}^7_3Li + {}^1_0n = {}^8_3Li + \gamma$ (40).
2. ${}^6_3Li + {}^1_0n = {}^6_2He + {}^1_1H$ (40).
3. ${}^6_3Li + {}^1_0n = {}^4_2He + {}^3_1H$ (23).

Gleichung 1. Verstärkung bei langsamen Neutronen 3–4fach (40).
Gleichung 3. $E_H = 5{,}73$ cm Reichweite (23).
$\sigma_A = 900$ (24).
Reaktion 3 ist als Detektorreaktion verwendbar (8).

${}_3Li$-Wirkungsquerschnitte

σ ($LiC_2^1O_2^3$) = $2{,}64 \pm 0{,}18$ (*Li-D*) (137).
σ ($LiC_2^1O_2^3$) = $2{,}01 \pm 0{,}21$ (*D-D*; 2,38 bis 2,50 MeV) (137).
$\sigma = 1{,}0 \pm 0{,}3$ (*Raγ-Be*; 0,133 und 0,530 MeV) (141).
$\sigma = 2{,}2 \pm 0{,}4$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
σ = 2,0 (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
σ (*Li*) = 45 (langsame Neutronen) (7).

Beryllium

${}_4Be$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^9_4Be + {}^1_0n \rightarrow {}^6_2He + {}^4_2He$ (25, 81)
2. ${}^9_4Be + {}^1_0n = {}^8_4Be + 2\,{}^1_0n$? (26)

${}_4Be$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 2{,}9 \pm 0{,}5$ (*Raγ-Be*; 0,133 und 0,530 MeV) (141).
$\sigma = 2{,}8 \pm 0{,}2$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma = 2{,}6$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma = 5{,}3$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s = 6{,}9$ (langsame Neutronen) (42).

Bor

${}_5B$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^{10}_5B + {}^1_0n = {}^7_3Li + {}^4_2He$ (150).
2. ${}^{10}_5B + {}^1_0n = 2\,{}^4_2He + {}^3_1H$ (150).
3. ${}^{11}_5B + {}^1_0n = {}^8_3Li + {}^4_2He$ (40, 151).

Gleichung 1. $E_{He} = 0{,}82$ cm Reichweite (38).
$E_{He} = 0{,}86$ cm Reichweite (41).
$E_{Li} = 0{,}36$ cm Reichweite (38).
Reaktion 1 ist als Indikatorreaktion verwendbar (27). Die Absorption in Bor folgt dem $1/v$-Gesetz, vgl. aber (301).
$\sigma_A = 3000$ (28).
Gleichung 3. Drei α-Reichweitengruppen
$E_{He} = 1{,}13$ cm; 0,94 cm; (0,57 cm) (82).

${}_5B$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(BO^3_2) = 2{,}15 \pm 0{,}13$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(B_4C) = 1{,}98 \pm 0{,}07$ (*D-D*; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(BO^3_2) = 1{,}65 \pm 0{,}15$ (*D-D*; 2,38–2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(BO^3_2) = 1{,}86 \ldots 2{,}27 \pm 0{,}18$ (*D-D*; 2,1 bis 2,8 MeV) (139).
$\sigma = 3{,}8 \pm 0{,}5$ (*Raγ-Be*; 0,133 und 0,530 MeV) (141).
$\sigma = 4{,}2 \pm 0{,}5$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (142).
$\sigma = 360$ (langsame Neutronen) (7).
$A_B = 0{,}2$ (*Ag*; 2,3 min).
$A_B = 0{,}82$ (*Br*; 18 min).
$A_B = 0{,}97$ (*J*; 25 min).
$A_B = 2{,}46$ (*Ag*; 22 min).
$A_B = 5{,}35$ (*C*-Neutronen; *Rh* 44 s).
$A_B = 30{,}0$ (*C*-Neutronen; *Rh*).
Literatur für die Absorptionskoeffizienten siehe (153).

Kohlenstoff

${}_6C$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^{12}_6C + {}^1_0n = {}^9_4Be + {}^4_2He$ (1, 9).
2. ${}^{12}_6C + {}^1_0n = 3\,{}^4_2He + {}^1_0n$ (3).
3. ${}^{12}_6C + {}^1_0n = {}^{11}_6C + 2\,{}^1_0n$ (43).

Für Gleichung 2 und 3 ist $\sigma_A = (>)\ 1{,}8 \cdot 10^{-2}$ (*Li-D*; 15 MeV) (83).

${}_6C$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 1{,}13$ (~ 15 MeV) (136).
$\sigma\,(C) = 1{,}27 \pm 0{,}04$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(C) = 1{,}97 \pm 0{,}07$ (*D-D*; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(C) = 1{,}50 \pm 0{,}04$ (*D-D*; 2,38–2,50 MeV) (138).
$\sigma = 1{,}5$ (*D-D*; 2,2–2,7 MeV) (154).
$\sigma\,(C) = 1{,}56 \ldots 1{,}95 \pm 0{,}04$ (*D-D*; 2,1 bis 2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(C) = 1{,}57$ (*D-D*; 2,80 MeV) (306).
$\sigma\,(C) = 1{,}45$ (*D-D*; 2,65 MeV) (306).
$\sigma\,(C) = 1{,}38$ (*D-D*; 2,57 MeV) (306).
$\sigma\,(C) = 1{,}38$ (*D-D*; 2,49 MeV) (306).
$\sigma\,(C) = 1{,}39$ (*D-D*; 2,41 MeV) (306).
$\sigma\,(C) = 1{,}41$ (*D-D*; 2,34 MeV) (306).
$\sigma = 4{,}8 \pm 0{,}3$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma = 2{,}1$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
σ für schnelle Neutronen nicht sehr abhängig vom Streuwinkel (155), [vgl. (279)], (140).
$\sigma = 4{,}80$ (*J*-Neutronen) (156).
$\sigma = 4{,}1$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s = 4{,}83$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma = 4{,}83$ (langsame Neutronen) (42).
σ_A kleiner 0,01 (thermische Neutronen) ($2{,}2 \cdot 10^5\ \mathrm{ms^{-1}}$) (76).
$\sigma_s = 3{,}0 \pm 0{,}3$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 3{,}6$ (*C*-Neutronen) (157).
$\sigma = 4{,}80$ (In; 1 eV $> E_n >$ 0,5 eV) (315).
$\sigma_A\,(C) = 3 \cdot 10^{-3}$ (thermische Neutronen) (nach einer privaten Mitteilung von W. Bothe).
$\sigma_A\,(CO_2)$: $2 \cdot 10^{-3} \leq \sigma_A \leq 4{,}5 \cdot 10^{-3}$ (langsame Neutronen) (nach einer privaten Mitteilung von P. Harteck).

Stickstoff

${}_6N$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^{14}_7N + {}^1_0n = {}^{11}_5B + {}^4_2He$ (10, 84).
2. ${}^{14}_7N + {}^1_0n = {}^{14}_6C + {}^1_1H$ (29).
3. ${}^{14}_7N + {}^1_0n = {}^{13}_7N + 2\,{}^1_0n$ (43).

Gleichung 1. Anregung s. (320). $\sigma = 1{,}63 \cdot 10^{-1}$ (*D-D*; 2,8 MeV) (159).
Gleichung 2. E_H 1,06 cm Reichweite (11).
$\sigma = 0{,}04$ (*D-D*; 2,8 MeV) (159, 287).
s. a. (85, 162). Über ${}^1_0n$ Resonanzstellen (86, 161).
Energietönung der Reaktion $= 0{,}55 \pm 0{,}03$ MeV (307).

${}_7N$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(NMg^3_2) = 2{,}16 \pm 0{,}20$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(N_2) = 1{,}38 \pm 0{,}06$ (*D-D*; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(NMg^3_2) = 1{,}56 \pm 0{,}22$ (*D-D*; 2,38 – 2,50 MeV) (137).
$\sigma = 1{,}3$ (*D-D*; 2,2 — 2,7 MeV) (154).

$\sigma\ (NMg_2^3) = 1{,}83 \ldots 2{,}35 \pm 0{,}3$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).

$\left.\begin{array}{l}\sigma\ (NaN_3) = 1{,}25 \quad (D\text{-}D;\ 2{,}80\ \text{MeV})\\ \sigma\ (NaN_3) = 1{,}28 \quad (D\text{-}D;\ 2{,}65\ \text{MeV})\\ \sigma\ (NaN_3) = 1{,}39 \quad (D\text{-}D;\ 2{,}57\ \text{MeV})\\ \sigma\ (NaN_3) = 1{,}27 \quad (D\text{-}D;\ 2{,}49\ \text{MeV})\\ \sigma\ (NaN_3) = 1{,}22 \quad (D\text{-}D;\ 2{,}41\ \text{MeV})\\ \sigma\ (NaN_3) = 1{,}33 \quad (D\text{-}D;\ 2{,}34\ \text{MeV})\end{array}\right\}$ (306).

$\left.\begin{array}{l}\sigma_s = 0{,}97\\ \sigma_A = 0{,}2\end{array}\right\}$ (*D-D*-Neutronen) (287).

$\sigma = 1{,}6 \pm 0{,}3$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,530 MeV) (141).

$\sigma = 2{,}1$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\ (N) = 12{,}0$ ($\sim 300^\circ K$) (135).

flüssig N_2 $\sigma = 13$ ($\sim 300^\circ K$) (79).

flüssig N_2 $\sigma = 12{,}8$ ($\sim 300^\circ K$) (135).

$\sigma_A = 1{,}3 \pm 0{,}3$ (thermische Neutronen $2{,}2 \cdot 10^5\ \text{cms}^{-1}$) (76).

$\sigma\ (AlN_3) = 11{,}3$ (langsame Neutronen) (7).

$\sigma\ (AlN_3) = 8{,}2$ (langsame Neutronen) (42).

$\sigma_A\ (NH_4NO_3) = 1{,}2$ (thermische Neutronen) (302).

Sauerstoff

${}_8O$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^{16}_{8}O + {}^{1}_{0}n = {}^{13}_{6}C + {}^{4}_{2}He$ (2, 4).
2. ${}^{16}_{8}O + {}^{1}_{0}n = {}^{16}_{7}N + {}^{1}_{1}H$ (44).
3. ${}^{16}_{8}O + {}^{1}_{0}n = {}^{15}_{8}O + 2{}^{1}_{0}n$ (43).

Gleichung 1. $E_{He} = 1$ cm Reichweite (21).
$E_C = 0{,}2 - 0{,}3$ cm Reichweite (2).

Gleichung 2. Verläuft nur bei sehr schnellen Neutronen (44).

${}_8O$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (OSi_2^1) = 1{,}41 \pm 0{,}06$ (*Li-D*) (137).

$\sigma = 1{,}25 \pm 0{,}05$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).

$\sigma\ (OSi_2^1) = 1{,}41 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).

$\sigma\ (OSi_2^1) = 1{,}14 \ldots 1{,}29 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).

$\sigma = 1{,}8 \pm 0{,}04$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,530 MeV) (141).

$\sigma = 3{,}0 \pm 1{,}0$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).

$\sigma = 2{,}1$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

Durchlässigkeit für mittelschnelle Neutronen (160).

$\sigma\ (Al_2O_3) = 3{,}3$ (langsame Neutronen) (7).

$\sigma_s\ (Al_2O_3) = 4{,}2$ (langsame Neutronen) (42).

$\sigma\ (O_2\text{-Gas}) = 4{,}1$ (langsame Neutronen) (167).

$\sigma_s\ (Al_2O_3)$ 3 (*D*-Neutronen) (157).

$\sigma\ (O_2) = 4{,}1$ ($\sim 300^\circ K$) (135).

$\sigma\ (O_2\ \text{flüssig}) = 4$ ($\sim 300^\circ K$) (79).

$\sigma\ (O_2\ \text{flüssig}) = 4.5$ ($\sim 300^\circ K$) (135).

σ_A = kleiner 0,01) (thermische Neutronen) $(2{,}2 \cdot 10^5\ \text{cms}^{-1})$ (76).

Fluor

${}_9F$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n = {}^{16}_{7}N + {}^{4}_{2}He$ (9).
2. ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n = {}^{16}_{7}N + {}^{4}_{2}He$ (9, 12).
3. ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n = {}^{19}_{8}O + {}^{1}_{1}H$ (5, 40).
4. ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n = {}^{18}_{9}F + 2{}^{1}_{0}n$ (43, 45).
5. ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n = {}^{20}_{9}F + \gamma$ (30, 40).
6. ${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n = {}^{17}_{9}F + 3{}^{1}_{0}n$ (43, 45).

Gleichung 2. $\sigma = 2{,}5$ (9).

${}_9F$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (FCa_2^1) = 1{,}37 \pm 0{,}11$ (*Li-D*) (137).

$\sigma\ (FCa_2^1) = 2{,}30 \pm 0{,}13$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (137).

$\sigma\ (FNa) = 2{,}80 \ldots 3{,}18 \pm 0{,}12$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).

$\sigma = 6{,}3 \pm 1{,}6$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,530 MeV) (141).

$\sigma = 6{,}4 \pm 1{,}3$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).

$\sigma\ (NaF) = 2{,}7$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\ (CaF_2) = 4{,}1$ (langsame Neutronen) (42).

$\sigma\ (CaF_2) = 2{,}5$ (langsame Neutronen) (7).

$\sigma_A\ (NaF) < 0{,}5$ (thermische Neutronen) (302).

Neon

${}_{10}Ne$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^{20}_{10}Ne + {}^{1}_{0}n = {}^{17}_{8}O + {}^{4}_{2}He$ (13).
2. ${}^{22}_{10}Ne + {}^{1}_{0}n = {}^{19}_{8}O + {}^{4}_{2}He$ (13).

${}_{10}Ne$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Ne) = 2{,}94$ ($\sim 300^\circ K$) (135).

Natrium

${}_{11}Na$- $(n,-)$ Prozesse

1. ${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{0}n = {}^{20}_{9}F + {}^{4}_{2}He$ (30, 40).
2. ${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{0}n = {}^{23}_{10}Ne + {}^{1}_{1}H$ (5, 40).
3. ${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{0}n = {}^{24}_{11}Na + \gamma$ (5).

Gleichung 3. Aktivität 10 Proz. der von *Ag* (2,5 Min.) (87).

${}_{11}Na$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Na) = 2{,}35 \pm 0{,}09$ (*Li-D*) (137).

$\sigma\ (Na) = 2{,}37 \pm 0{,}09$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).

$\sigma\ (Na) = 3{,}33 \pm 0{,}09$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).

$\sigma = 2{,}6$ (*D-D*; 2,2 — 2,7 MeV) (154).

$\sigma\ (Na) = 2{,}80 \ldots 3{,}18 \pm 0{,}12$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).

$\sigma\,(Na) = 2{,}38$ (*D-D*; 2,80 MeV)
$\sigma\,(Na) = 2{,}50$ (*D-D*; 2,65 MeV)
$\sigma\,(Na) = 2{,}69$ (*D-D*; 2,57 MeV)
$\sigma\,(Na) = 2{,}69$ (*D-D*; 2,49 MeV)
$\sigma\,(Na) = 2{,}69$ (*D-D*; 2,41 MeV)
$\sigma\,(Na) = 2{,}74$ (*D-D*; 2,34 MeV) } (306).

$\sigma = 3{,}5 \pm 0{,}8$ (*Raγ-Be*; 0,33 u. 0,53 MeV) (141).

$\sigma = 3{,}2 \pm 0{,}6$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).

$\sigma_s\,(Na) = 3{,}4$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(NaF) = 4{,}2$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(NaF) = 3{,}6$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s\,(Na_2S) \sim 4{,}7$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_{\perp}\,(NaF) < 0{,}5$ (thermische Neutronen) (302).
$(NaCl)\ \sigma_{\perp} = 16$ (langsame Neutronen) (nach einer privaten Mitteilung von E. Stuhlinger).

Magnesium

$_{12}Mg$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{26}_{12}Mg + {}^{1}_{0}n = {}^{23}_{10}Ne + {}^{4}_{2}He$ (40).
2. $^{24}_{12}Mg + {}^{1}_{0}n = {}^{24}_{11}Na + {}^{1}_{1}H$ (88, 43).
3. $^{26}_{12}Mg + {}^{1}_{0}n = {}^{27}_{12}Mg + \gamma$ (46).

Gleichung 3. $\sigma_{\perp} = 3{,}5$ (14).
Gesamtaktivität 0,1 Proz. der von *Ag* (2,5 min) (87).

$_{12}Mg$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Mg) = 1{,}79 \pm 0{,}07$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(Mg) = 2{,}85 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
$\sigma\,(Mg) = 1{,}94 \ldots 2{,}02 \pm 0{,}10$ (*D-D*; 2,1 – 2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(Mg) = 2{,}34$ (*D-D*; 2,80 MeV) (306).
$\sigma\,(Mg) = 2{,}54$ (*D-D*; 2,65 MeV) (306).
$\sigma\,(Mg) = 2{,}14$ (*D-D*; 2,57 MeV) (306).
$\sigma\,(Mg) = 1{,}76$ (*D-D*; 2,49 MeV) (306).
$\sigma\,(Mg) = 1{,}94$ (*D-D*; 2,41 MeV) (306).
$\sigma\,(Mg) = 2{,}19$ (*D-D*; 2,34 MeV) (306).
$\sigma_{max} = 2{,}5$ (2,55 MeV) (154).
σ-Änderung bei Änderung von 2,1 – 2,8 MeV um ungefähr 30 Proz. (154).
$\sigma\,(Mg) = 1{,}89 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,38 – 2,50 MeV) (137).
$\sigma = 8{,}4 \pm 2{,}8$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,53 MeV) (141).
$\sigma = 3{,}9 \pm 0{,}4$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma\,(Mg) = 3{,}3$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(Mg) = 3{,}5$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Mg) = 4{,}2$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s = 6{,}8 \pm 0{,}7$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 3{,}3$ (*C*-Neutronen) (157).

Aluminium

$_{13}Al$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n = {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$ (88, 5, 43).
2. $^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n = {}^{27}_{12}Mg + {}^{1}_{1}H$ (88, 43, 47).
3. $^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n = {}^{28}_{13}Al + \gamma$ (87, 89).

Verlauf der Prozesse für verschiedene E_n s. (14).
Gleichung 1. Intensität sehr stark (87).
Gleichung 2. Intensität sehr stark (87).
Gleichung 3. Der Prozeß wird nur durch thermische Neutronen angeregt (90). Intensität 15 Proz. der von *Ag* (2,5 min) (87).
$\sigma_{\perp} = 1{,}5$ (14).

$_{13}Al$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Al) = 2{,}12 \pm 0{,}05$ (*Li-D*) (137).
$\sigma = 2{,}34 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
$\sigma\,(Al) = 3{,}15 \pm 0{,}11$ (*D-D*; 2,38 – 2,50 MeV) (137).
$\sigma_{max} = 3{,}0$ (2,50 MeV; Breite 0,15 MeV) (154).
$\sigma\,(Al) = 2{,}48$ (*D-D*; 2,80 MeV)
$\sigma\,(Al) = 2{,}94$ (*D-D*; 2,65 MeV)
$\sigma\,(Al) = 2{,}94$ (*D-D*; 2,57 MeV)
$\sigma\,(Al) = 2{,}18$ (*D-D*; 2,49 MeV)
$\sigma\,(Al) = 2{,}19$ (*D-D*; 2,41 MeV)
$\sigma\,(Al) = 2{,}49$ (*D-D*; 2,34 MeV) } (306).
σ-Änderung bei Änderung der E_n von 2,1 – 2,8 MeV um ungefähr 30 Proz. (154).
$\sigma\,(Al) = 2{,}35 - 2{,}66 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,1 – 2,8 MeV) (139).
$\sigma = 4{,}0 \pm 0{,}4$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,530 MeV) (141).
$(Al)\ \sigma_{\perp} = 3 \cdot 10^{-4}$ (*ThC''γ-D*; 0,220 ± 0,04 MeV) (91).
$\sigma = 3{,}8 \pm 0{,}4$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (142, 141).
$\sigma = 3{,}7$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
Winkelverteilung der Streuung der schnellen Neutronen s. (164).

$\sigma_s = 0{,}372 \pm 0{,}038$ für 23° (140).
$\sigma_s = 0{,}365 \pm 0{,}030$ für 33° (140).
$\sigma_s = 0{,}302 \pm 0{,}017$ für 44° (140).
$\sigma_s = 0{,}207 \pm 0{,}010$ für 55° (140).
$\sigma = 1{,}6$ (*C*-Neutronen) (90).

$\sigma_s\,(Al) = 1{,}6$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma\,(Al) = 1{,}5$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Al) = 1{,}5 \pm 0{,}3$ (*D*-Neutronen) (157).

Silicium

$_{14}Si$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{28}_{14}Si + {}^{1}_{0}n = {}^{28}_{13}Al + {}^{1}_{1}H$ (5, 47).
2. $^{30}_{14}Si + {}^{1}_{0}n = {}^{31}_{14}Si + \gamma$ (5, 6).
3. $^{28}_{14}Si + {}^{1}_{0}n = {}^{27}_{14}Si + 2\,{}^{1}_{0}n$ (43).

Gleichung 1. Intensität 0,1 Proz. der von *Ag* (2,5 min) (87).
Gleichung 2. Intensität 0,3 Proz. der von *Ag* (2,5 min) (87).
$\sigma_A = 2{,}5$ (14).
Gleichung 3. Intensität schwach (43).

$_{14}Si$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Si) = 2{,}00 \pm 0{,}05$ (*Li-D*) (137).
$\sigma = 2{,}77 \pm 0{,}08$ (*D-D*; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(Si) = 2{,}25 \ldots 2{,}88 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(Si) = 2{,}95 \pm 0{,}06$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma = 1{,}4 \pm 0{,}7$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,530 MeV) (141).
$\sigma = 7{,}2 \pm 0{,}9$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma\,(Si) = 3{,}2$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(Si) = 2{,}5$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Si) = 1{,}7$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s\,(Si) = 4{,}2 \pm 0{,}4$ (*D*-Neutronen) (157).
(SiO_2) σ (Glas) $= 8{,}0 \pm 1$ (163, 312).
(SiO_2) σ (Sand) $= 8{,}8 \pm 1$ (163, 312).
(SiO_2) σ (Einkristall) $= 4{,}1$ bzw. $4{,}5 \pm 0{,}6$ (langsame Neutronen) (163, 312).
(SiO_2) σ (Einkristall) $= 7{,}2 \pm 1{,}2$ (Resonanzneutronen) (281).
(SiO_2) σ (Einkristall) $= 3{,}2 \pm 1{,}2$ u. $3{,}0 \pm 0{,}7$ (*C*-Neutronen) (281).
(SiO_2) σ (Einkristall) $= 2{,}3 \pm 0{,}7$ („Kalte" Neutronen) (281).

Phosphor

$_{15}P$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{31}_{15}P + ^{1}_{0}n = ^{28}_{13}Al + ^{4}_{2}He$ (5, 15).
2. $^{31}_{15}P + ^{1}_{0}n = ^{31}_{14}Si + ^{1}_{1}H$ (15, 43).
3. $^{31}_{15}P + ^{1}_{0}n = ^{32}_{15}P + \gamma$ (15, 92).
4. $^{31}_{15}P + ^{1}_{0}n = ^{30}_{15}P + 2^{1}_{0}n$ (43, 93).

Gleichung 1. Intensität 0,5 Proz. der von *Ag* (2,5 min) (48).
Gleichung 2. Intensität 2 Proz. der von *Ag* (2,5 min) (87).
Gleichung 3. $\sigma_A = 14{,}7$ (16).
Gleichung 4. Intensität sehr stark (43).

$_{15}P$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(P) = 2{,}82 \pm 0{,}10$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(P) = 3{,}24 \pm 0{,}08$ (*D-D*; 2,28 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(P) = 2{,}71 \ldots 3{,}12 \pm 0{,}09$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma = 2{,}4 \pm 0{,}4$ (*RaThγ-B*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma = 4{.}4$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma = 13{,}6$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma = 14{.}7$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s = 10{,}4$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s = 9{,}1 \pm 0{,}9$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_A\,(H_3PO_4) = 1{,}0$ (thermische Neutronen) (302).

Schwefel

$_{16}S$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{34}_{16}S + ^{1}_{0}n = ^{31}_{14}S + ^{4}_{2}He$ (93, 95, 165).
2. $^{32}_{16}S + ^{1}_{0}n = ^{32}_{15}P + ^{1}_{1}H$ (43, 93).
3. $^{32}_{16}S + ^{1}_{0}n = ^{31}_{16}S + 2^{1}_{0}n$ (92, 93, 165).
4. $^{34}_{16}S + ^{1}_{0}n = ^{35}_{16}S + \gamma$ (94).

Gleichung 2. Intensität stark (92, 95).

$_{16}S$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(S) = 2{,}23 \pm 0{,}09$ (*Li-D*) (137).
$\sigma = 3{,}12 \pm 0{,}15$ (*D-D*; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(S) = 2{,}50 \ldots 2{,}68 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(S) = 2{,}38 \pm 0{,}10$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma = 1{,}0 \pm 0{,}3$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,530 MeV) (141).
$\sigma = 2{,}3 \pm 0{,}4$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma = 2{,}6$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(S) = 1$ (langsame Neutronen) (166).
$\sigma = 1{,}4$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s = 1{,}1$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s = 1{,}3 \pm 0{,}1$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 1{,}0$ (*C*-Neutronen) (157).

Chlor

$_{17}Cl$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{36}_{17}Cl + ^{1}_{0}n = ^{32}_{15}P + ^{4}_{2}He$ (5, 43).
2. $^{35}_{17}Cl + ^{1}_{0}n = ^{35}_{16}S + ^{1}_{1}H$ (280, 31).
3. $^{37}_{17}Cl + ^{1}_{0}n = ^{38}_{17}Cl + \gamma$ (17).
4. $^{35}_{17}Cl + ^{1}_{0}n = ^{34}_{17}Cl + 2^{1}_{0}n$ (87).

Über die Intensität der gesamten Vorgänge vgl. (96, 97).
Gleichung 1. Intensität stark (43).
Gleichung 3. $\sigma_A = 39$ (14).
Gleichung 4. Intensität gleich der der Silberaktivität (2,5 min) (87).

$_{17}Cl$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(ClC_4^1) = 2{,}23 \pm 0{,}07$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(ClC_4^1) = 3{,}42 \pm 0{,}16$ (*D-D*; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(ClC_4^1) = 2{,}78 \pm 0{,}09$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(ClC_4^1) = 2{,}66 \ldots 2{,}84 \pm 0{,}10$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma = 3{.}5 \pm 2{,}1$ (*Raγ-Be*; 0,133 u. 0,530 MeV) (141).
$\sigma = 3{,}8 \pm 1{,}6$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma\,(NaCl) = 2{,}7$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma = 52$ (langsame Neutronen) (49).
$\sigma = 39$ (langsame Neutronen) (7).
σ_s = kleiner 10 (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_A\,(HCl) = 27$ (thermische Neutronen) (302).

Argon

$_{18}A$- $(n,\text{-})$ Prozesse

$$^{40}_{18}A + {}^{1}_{0}n = {}^{41}_{18}A + \gamma \qquad (48).$$

$_{18}A$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 2{,}51$ $(\sim 300°\,K)$ (135).

Kalium

$_{19}K$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{41}_{19}K + {}^{1}_{0}n = {}^{38}_{17}Cl + {}^{4}_{2}He$ (50).
2. $^{39}_{19}K + {}^{1}_{0}n = {}^{39}_{18}A + {}^{1}_{1}H$ (43).
3. $^{41}_{19}K + {}^{1}_{0}n = {}^{41}_{18}A + {}^{1}_{1}H$ (43, 50).
4. $^{41}_{19}K + {}^{1}_{0}n = {}^{42}_{19}K + \gamma$ (50).
5. $^{39}_{19}K + {}^{1}_{0}n = {}^{38}_{19}K + 2{}^{1}_{0}n$ (43).

Gleichung 2. Intensität stark (43).
Gleichung 3. Intensität schwach (43).
Gleichung 4. $\sigma_A = 8{,}2$ (14).

$_{19}K$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(K) = 3{,}10 \pm 0{,}11$ (*Li-D*) (137).
$\sigma = 3{,}13 \pm 0{,}15$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
$\sigma\,(K) = 4{,}15 \pm 0{,}17$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(K) = 3{,}62 \ldots 3{,}67 \pm 0{,}18$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma = 7{,}4 \pm 1{,}4$ (*RaTh-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma\,(KCl) = 3{,}8$? (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(KF) = 8{,}2$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(KF) = 1{,}5$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_A\,(KF) = 3{,}2$ (thermische Neutronen) (302).

Calcium

$_{20}Ca$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{42}_{20}Ca + {}^{1}_{0}n = {}^{42}_{19}K + {}^{1}_{1}H$ (51).
2. $^{44}_{20}Ca + {}^{1}_{0}n = {}^{45}_{20}Ca + \gamma$ (283, 52).
3. $^{40}_{20}Ca + {}^{1}_{0}n = {}^{39}_{20}Ca + 2{}^{1}_{0}n$ (43).
4. $^{48}_{20}Ca + {}^{1}_{0}n = {}^{49}_{20}Ca + \gamma$ (282).
5. $^{46}_{20}Ca + {}^{1}_{0}n = {}^{41}_{20}Ca + 2{}^{1}_{0}n$ (283).

$_{20}Ca$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(CaO) = 3{,}65 \pm 0{,}17$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(CaCO_3) = 4{,}10 \pm 0{,}36)$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(CaO) = 3{,}85 \pm 0{,}16$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma = 4{,}1 \pm 1{,}1$ (*RaThγ-D*; 0,210 MeV) (141).
$\sigma\,(CaF_2) = 4{,}9$? (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(Ca) = 11{,}0$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Ca) = 9{,}5$ (langsame Neutronen) (42).

Scandium

$_{21}Sc$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n = {}^{42}_{19}K + {}^{4}_{2}He$ (48, 98).
2. $^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n = {}^{45}_{20}Ca + {}^{1}_{1}H$ (98, 283).
3. $^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n = {}^{46}_{21}Sc + \gamma$ (48, 98).
4. $^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n = {}^{44}_{21}Sc + 2{}^{1}_{0}n$ (18, 99).
5. $^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n = {}^{43}_{21}Sc + 3{}^{1}_{0}n$ (98).

Titan

$_{22}Ti$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{48}_{22}Ti + {}^{1}_{0}n = {}^{45}_{20}Ca + {}^{4}_{2}He$ (53, 54).
2. $^{46}_{22}Ti + {}^{1}_{0}n = {}^{46}_{21}Sc + {}^{1}_{1}H$ (54).
3. $^{48}_{22}Ti + {}^{1}_{0}n = {}^{48}_{21}Sc + {}^{1}_{1}H$ (54, 282).
4. $^{49}_{22}Ti + {}^{1}_{0}n = {}^{49}_{21}Sc + {}^{1}_{1}H$ (282).
5. $^{50}_{22}Ti + {}^{1}_{0}n = {}^{51}_{22}Ti + \gamma$ (52, 54).

Spaltungsprozeß? (168).

$_{22}Ti$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(TiO_2) = 2{,}55 \pm 0{,}21$ (*Li-D*) (137).
$\tau\,(TiO_2) = 1{,}73 \pm 0{,}16$ (*D-D*; 2,38—2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(TiO_2) = 1{,}85 \ldots 2{,}11 \pm 0{,}28$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(TiO_2) = 4{,}4$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(TiO_2) = 11{,}9$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(TiO_2) = 6{,}2$ (langsame Neutronen) (42).

Vanadin

$_{23}V$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{51}_{23}V + {}^{1}_{0}n = {}^{48}_{21}Sc + {}^{4}_{2}He$ (54, 98, 282).
2. $^{51}_{23}V + {}^{1}_{0}n = {}^{51}_{22}Ti + {}^{1}_{1}H$ (98).
3. $^{51}_{23}V + {}^{1}_{0}n = {}^{52}_{23}V + \gamma$ (43, 54).
4. $^{51}_{23}V + {}^{1}_{0}n = {}^{50}_{23}V + 2{}^{1}_{0}n$ (54, 98).

Gleichung 1. Intensität sehr schwach (43).
Gleichung 3. Verstärkung 40fach bei Verwendung langsamer Neutronen (5).

$_{23}V$-Wirkungsquerschnitte

$(V)\ \sigma_A = 9 \cdot 10^{-4}$ (*ThC″γ-D*; 0,220 ± 0,04 MeV) (91).
$(V)\ \sigma_A = (2{,}1 \pm 0{,}2) \cdot 10^{-3}$ (*Raγ-Be*; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma\,(V) = 10$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(V)$ = kleiner 4 (langsame Neutronen (42).
$\sigma_A\,(VOSO_4) = 6{,}8$ (thermische Neutronen) (302).

Chrom

$_{24}Cr$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{50}_{24}Cr + {}^{1}_{0}n = {}^{51}_{24}Cr + \gamma$ (284).
2. $^{52}_{24}Cr + {}^{1}_{0}n = {}^{52}_{23}V + {}^{1}_{1}H$ (47, 54).

Intensität ist 1,5–2 Proz. der der *Ag*-Aktivität (2,5 min) (87).

$_{24}Cr$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Cr) = 3{,}05 \pm 0{,}08$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\ (Cr) = 3{,}38 \pm 0{,}10$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\ (Cr) = 3{,}02 \ldots 3{,}21 \pm 0{,}09$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma\ (Cr_2O_3) = 3{,}5$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$\sigma\ (Cr) = 4{,}9$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\ (Cr) = 3{,}6$ (langsame Neutronen) (42).

Mangan

$_{25}Mn$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{55}_{25}Mn + {}^{1}_{0}n = {}^{52}_{23}V + {}^{4}_{2}He$ (47, 54).
2. $^{55}_{25}Mn + {}^{1}_{0}n = {}^{56}_{25}Mn + \gamma$ (32, 43).

Über beide Prozesse s. (100).
Gleichung 1. Intensität sehr stark (43).
Gleichung 2. E_n (mindest) = 30 — 85 eV (33). Verstärkung bei Verwendung langsamer Neutronen 23fach (33).

$_{25}Mn$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Mn) = 3{,}18 \pm 0{,}08$ (*Li-D*) (137).
$\sigma = 3{,}82 \pm 0{,}82$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
$\sigma\ (Mn) = 3{,}02 \pm 0{,}07$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\ (Mn) = 3{,}08 \ldots 3{,}31 \pm 0{,}10$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$(^{55}Mn)\ \sigma_A = 9 \cdot 10^{-4}$ (*ThC''γ-D*; 0,22 ± 0,04 MeV) (91).
$\sigma\ (MnO_2) = 4{,}9$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$(^{55}Mn)\ \sigma_A = (4{,}5 \pm 0{,}4) \cdot 10^{-3}$ (*Raγ-Be*; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).
$A_{Mn} = 0{,}80$ (*Mn*; 150 min).
$A_{Mn} = 0{,}003$ (*Ag*; 2,3 min).
$A_{Mn} = 0{,}04$ (*Br*; 18 min).
$A_{Mn} = 0{,}02$ (*J*; 25 min).
$A_{Mn} = 0{,}003$ (*Ag*; 22 s).
$A_{Mn} = 0{,}015$ (*D*-Neutronen; *Rh*; 44 s).
$A_{Mn} = 0{,}14$ (*C*-Neutronen; *Rh*).
Literatur für A_{Mn} s. (170).
$\sigma\ (Mn) = 14{,}3$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\ (Mn) = 2{,}1$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s = 8{,}4 \pm 0{,}7$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 3{,}0$ (*C*-Neutronen) (157).
$\sigma_A\ (MnSO_4) = 9{,}4$ (thermische Neutronen) (302).

Wirkungsquerschnitte von *Mn*-Verbindungen:
(MnO) $\sigma = 19{,}9$ [additiv: 17,2] (*C*-Neutronen) (312).
(MnS) $\sigma = 19{,}1$ [additiv: 15,1] (*C*-Neutronen) (312).
(MnO_2) $\sigma = 25{,}2$ [additiv: 21,3] (*C*-Neutronen) (312).
$(MnSO_4)$ $\sigma = 33{,}6$ [additiv: 31,5] (*C*-Neutronen) (312).

Eisen

$_{26}Fe$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{56}_{26}Fe + {}^{1}_{0}n = {}^{56}_{25}Mn + {}^{1}_{1}H$ (94, 5, 43).
2. $^{54}_{26}Fe + {}^{1}_{0}n = {}^{53}_{26}Fe + 2{}^{1}_{0}n$ (101).

Gleichung 1. $E = 0{,}8$ MeV (42). Intensität sehr stark (43).
Keine Neutronenresonanzgruppen (171).

$_{26}Fe$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Fe) = 2{,}79 \pm 0{,}08$ (*Li-D*) (137).
$\sigma = 3{,}15 \pm 0{,}10$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
$\sigma\ (Fe) = 2{,}55 \ldots 3{,}02 \pm 0{,}06$ (*D-D*; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma\ (Fe) = 3{,}7$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
Abhängigkeit der Streuquerschnittes von dem Streuwinkel s. (164, 102).

$\left.\begin{array}{l}\sigma_s = 0{,}655 \pm 0{,}051 \text{ für } 23^\circ \\ \sigma_s = 0{,}588 \pm 0{,}033 \text{ für } 33^\circ \\ \sigma_s = 0{,}339 \pm 0{,}023 \text{ für } 44^\circ \\ \sigma_s = 0{,}175 \pm 0{,}035 \text{ für } 55^\circ\end{array}\right\}$ (*D-D*-Neutronen) (140).

$\sigma\ (Fe) = 8{,}5$ (langsame Neutronen) (164).
$\sigma_A\ (Fe) = 3{,}5$ (langsame Neutronen) (164).
$\sigma\ (Fe) = 13{,}6$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma\ (Fe) = 12{,}0$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\ (Fe) = 10{,}3$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s\ (Fe) = 9{,}0 \pm 0{,}5$ (*D*-Neutronen) (157).
σ (*Fe* polykristallin) = 12,0 ± 0,2 (langsame Neutronen) (163, 312).
σ (*Fe* Einkristall) = (7,0 u. 6,1) ± 1 (langsame Neutronen) (163, 312).
Wirkungsquerschnitte von *Fe-Ni* Legierungen für langsame Neutronen s. (292) vgl. (167, 312).

Wirkungsquerschnitte von *Fe*-Verbindungen:
(Fe_2O_3) $\sigma = 39{,}2$ [additiv: 36,3] (*C*-Neutronen) (312).

Cobalt

$_{27}Co$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{59}_{27}Co + {}^{1}_{0}n = {}^{56}_{25}Mn + {}^{4}_{2}He$ (43, 103).
2. $^{59}_{27}Co + {}^{1}_{0}n = {}^{59}_{26}Fe + {}^{1}_{1}H$ (34, 101).
3. $^{57}_{27}Co + {}^{1}_{0}n = {}^{58}_{27}Co + \gamma$ (55, 56).
4. $^{59}_{27}Co + {}^{1}_{0}n = {}^{60}_{27}Co + \gamma$ (18, 56).

Gleichung 1. Intensität 7 Proz. der der *Ag* Aktivität (2,5 min) (43).
Gleichung 2. $E = 2$ MeV (56, 57).
Neutronenresonanzstelle für ~ 1 MeV (104).

$_{27}Co$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (CoO_4^3) = 3{,}23 \pm 0{,}16$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\ (CoO_4^3) = 2{,}59 \pm 0{,}15$ (*D-D*; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\ (Co) = 5{,}2?$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$A_{Co} = 0{,}04$ (J; 25 min).
$A_{Co} = 0{,}03$ (Ag; 22 s).
$A_{Co} = 0{,}08$ (D-Neutronen; Rh; 44 s).
$A_{Co} = 0{,}32$ (C-Neutronen; Rh).
Literatur für Absorptionskoeffizienten s. (170).

$\sigma = 39$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma = 35$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Co) = 5$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_A\,(CoSO_4) = 33$ (thermische Neutronen) (302).

Nickel

$_{28}Ni$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{58}_{28}Ni + {}^1_0n = {}^{58}_{27}Co + {}^1_1H$ (55, 58, 105).
2. $^{62}_{28}Ni + {}^1_0n = {}^{63}_{28}Ni + \gamma$ (55, 58, 59).
3. $^{58}_{28}Ni + {}^1_0n = {}^{57}_{28}Ni + 2{}^1_0n$ (106).

Gleichung 1. Intensität schwach (47).
Gleichung 3. Intensität sehr schwach (43).

$_{28}Ni$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Ni) = 2{,}92 \pm 0{,}08$ (Li-D) (137).
$\sigma\,(Ni) = 2{,}56 \pm 0{,}08$ (D-D; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(Ni) = 2{,}48 \ldots 2{,}78 \pm 0{,}08$ (D-D; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
σ_A kleiner $9 \cdot 10^{-4}$ ($ThC''\gamma$-D; 0,2 2± 0,04 MeV) (91).
$\sigma\,(NiO) = 6{,}6$. (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(Ni) = 19{,}7$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma\,(Ni) = 15{,}4$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Ni) = 12{,}4$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s = 19 \pm 1$ (D-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 16{,}8$ (C-Neutronen) (157).
$\sigma\,(Ni) = 20{,}0$ (langsame Neutronen) (167).
$\sigma\,(Ni$ polykristallin$) = 19{,}8 \pm 0{,}5$ (langsame Neutronen) (163).
$\sigma\,(Ni$ polykristallin$) = 14{,}1 \pm 1{,}2$ (langsame Neutronen) (163, 312).
Wirkungsquerschnitte für Ni-Fe-Legierungen für langsame Neutronen s. (292, 152, 312).
Wirkungsquerschnitte von Ni-Verbindungen:
(NiO) $\sigma = 22{,}3$ [additiv: 23,9] (C-Neutronen) (312).

Kupfer

$_{29}Cu$- n,-) Prozesse

1. $^{63}_{29}Cu + {}^1_0n = {}^{63}_{28}Ni + {}^1_1H$ (58, 172).
2. $^{65}_{29}Cu + {}^1_0n = {}^{66}_{29}Cu + \gamma$ (107, 108, 172).
3. $^{63}_{29}Cu + {}^1_0n = {}^{64}_{29}Cu + \gamma$ (43, 172).
4. $^{63}_{29}Cu + {}^1_0n = {}^{64}_{29}Cu + 2{}^1_0n$ (172).
5. $^{63}_{29}Cu + {}^1_0n = {}^{62}_{29}Cu + 2{}^1_0n$ (55, 56, 172).
6. $^{63}_{29}Cu + {}^1_0n = {}^{61}_{29}Cu + 3{}^1_0n$ (60).

Gleichung 1. Intensität stark (59).
Gleichung 2. Intensität 31 Proz. der der Ag-Aktivität (2,5 min) (87).
E_n mindestens 30–85 Volt (33).
Gleichung 5. Intensität sehr stark (43).
Gleichung 6. Vgl. aber (99), wo diese Aktivität nicht gefunden wird.

$_{29}Cu$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Cu) = 2{,}97 \pm 0{,}05$ (Li-D) (137).
$\sigma = 2{,}82 \pm 0{,}10$ (D-D; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(Cu) = 2{,}59 \pm 0{,}06$ (D-D; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(Cu) = 2{,}50 \ldots 2{,}71 \pm 0{,}06$ (D-D; 2,1 — 2,8 MeV) (139).

Abhängigkeit des Querschnittes vom Streuwinkel:
$\sigma\,(Cu) = 0{,}448 \pm 0{,}045$ für 23° (D-D-Neutronen) (140).
$\sigma\,(Cu) = 0{,}418 \pm 0{,}033$ für 33° (D-D-Neutronen) (140).
$\sigma\,(Cu) = 0{,}276 \pm 0{,}026$ für 44° (D-D-Neutronen) (140).
$\sigma\,(Cu) = 0{,}186 \pm 0{,}023$ für 55° (D-D-Neutronen) (140).
(^{65}Cu) $\sigma_A = 9 \cdot 10^{-4}$ ($ThC''\gamma$-D; $0{,}220 \pm 0{,}04$ MeV) (91).
$\sigma\,(Cu) = 3{,}6$ (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
(^{64}Cu ($\sigma_A = (3{,}5 \pm 0{,}8) \cdot 10^{-3}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).
(^{66}Cu) $\sigma_A = (2{,}1 \pm 0{,}2) \cdot 10^{-3}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).
Elastische Streuung schneller Neutronen vgl. (279).
$\sigma\,(Cu) = 7{,}88$ (In) ($1\text{ eV} \geq E_n > 0{,}5$ eV) (156, 315).

$\sigma\,(Cu) = 11{,}9$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma\,(Cu) = 7{,}5$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Cu) = 8{,}6$ (langsame Neutronen) (42).

Wirkungsquerschnitte von Cu-Verbindungen für langsame Neutronen:
$\sigma\,(Cu) = 10{,}5$ (langsame Neutronen) (167).
(CuO) $\sigma = 16{,}2$ [additiv: 14,5] (langsame Neutronen) (167, 312).
(Cu_2O) $\sigma = 29{,}5$ (additiv: 25,0) (langsame Neutronen) (167, 312).
(CuS) $\sigma = 16{,}5$ [additiv: 12,6] (langsame Neutronen) (167, 312).
(Cu_2S) $\sigma = 27{,}7$ [additiv: 23,1] (langsame Neutronen) (167, 312).
$\sigma_s\,(Cu) = 8{,}0 \pm 0{,}8$ (D-Neutronen) (157).

Zink

$_{30}Zn$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{66}_{30}Zn + {}^1_0n = {}^{63}_{28}Ni + {}^4_2He$ (43)
2. $^{66}_{30}Zn + {}^1_0n = {}^{66}_{29}Cu + {}^1_1H$ (58, 5, 172).
3. $^{64}_{30}Zn + {}^1_0n = {}^{61}_{29}Cu + {}^1_1H$ (58, 172).
4. $^{64}_{30}Zn + {}^1_0n = {}^{65}_{30}Zn + \gamma$ (35, 172).
5. $^{66}_{30}Zn + {}^1_0n = {}^{65}_{30}Zn + 2{}^1_0n$ (35).
6. $^{64}_{30}Zn + {}^1_0n = {}^{63}_{30}Zn + 2{}^1_0n$ (173, 172).
7. $^{68}_{30}Zn + {}^1_0n = {}^{69}_{30}Zn + \gamma$ (173, 172).

Gleichung 1. Intensität stark (43).
Gleichung 2. Intensität sehr stark, 1 Proz. der der Ag-Aktivität (2,5 min) (58, 87).
Gleichung 3. Intensität sehr stark (43).
Gleichung 6. Intensität sehr stark (58).

$_{30}Zn$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Zn) = 2{,}80 \pm 0{,}07$ (Li-D) (137).
$\sigma = 3{,}28 \pm 0{,}10$ (D-D; $2{,}88 \pm 0{,}04$ MeV) (138).
$\sigma\,(Zn) = 2{,}68 \pm 0{,}09$ (D-D; 2,38—2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(Zn) = 2{,}62 \ldots 2{,}74 \pm 0{,}09$ (D-D; 2,1 — 2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(Zn) = 3{,}6$ (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$\sigma\,(Zn) = 4{,}7$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Zn) = 5{,}2$ (langsame Neutronen) (42).

Wirkungsquerschnitte für Zn-Verbindungen für langsame Neutronen:
$\sigma\,(Zn) = 4{,}5$ (langsame Neutronen) (167).
$(ZnO)\ \alpha = 7{,}7$ [additiv: 8,5] (langsame Neutronen) (167, 312).
$(ZnS)\ \sigma = 9{,}7$ [additiv: 6,5] (langsame Neutronen) (167, 312).
$\sigma_s\,(Zn) = 8{,}2 \pm 0{,}2$ (D-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 5{,}5$ (C-Neutronen) (157).

Gallium

$_{31}Ga$- (n,γ) Prozesse

1. $^{69}_{31}Ga + {}^1_0n = {}^{66}_{29}Cu + {}^4_2He$ (44).
2. $^{69}_{31}Ga + {}^1_0n = {}^{70}_{31}Ga + \gamma$ (43, 108).
3. $^{71}_{31}Ga + {}^1_0n = {}^{72}_{31}Ga + \gamma$ (43, 172).
4. $^{69}_{31}Ga + {}^1_0n = {}^{68}_{31}Ga + 2{}^1_0n$ (43, 108, 172).
5. $^{71}_{31}Ga + {}^1_0n = {}^{69}_{30}Zn + {}^1_1H$ (173).
6. $^{71}_{31}Ga + {}^1_0n = {}^{70}_{31}Ga + 2{}^1_0n$ (172).

Gleichung 2. Intensität sehr stark (43). Verstärkung bei Verwendung langsamer Neutronen 3fach (43).
Gleichung 3. Intensität schwach (43).
Gleichung 4. Intensität stark (43).

$_{31}Ga$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma_s\,(Ga)$ kleiner 4 (langsame Neutronen) (42).

Germanium

$_{32}Ge$- (n,γ) Prozesse

1. $^{76}_{32}Ge + {}^1_0n = {}^{77}_{32}Ge + \gamma$ (108, 172).
2. $^{70}_{32}Ge + {}^1_0n = {}^{71}_{32}Ge + \gamma$ (43, 108).
3. $^{72}_{32}Ge + {}^1_0n = {}^{71}_{32}Ge + 2{}^1_0n$ (43, 108).
4. $^{74}_{32}Ge + {}^1_0n = {}^{75}_{32}Ge + \gamma$ (43, 108, 172).
5. $^{76}_{32}Ge + {}^1_0n = {}^{75}_{32}Ge + 2{}^1_0n$ (43, 108).
6. $^{70}_{32}Ge + {}^1_0n = {}^{69}_{32}Ge + 2{}^1_0n$ (108).
7. $^{74}_{32}Ge + {}^1_0n = {}^{74}_{31}Ga + {}^1_1H$ (172).

$_{32}Ge$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 75$ (geschätzt!) (langsame Neutronen) (7).

Arsen

$_{33}As$- (n,γ) Prozesse

1. $^{75}_{33}As + {}^1_0n = {}^{76}_{33}As + \gamma$ (109, 61, 174).
2. $^{75}_{33}As + {}^1_0n = {}^{74}_{33}As + 2{}^1_0n$ (109, 103, 174).

Gleichung 1. $E = 2{,}16$ und $3{,}15$ MeV (116). $E = 2{,}2$ MeV (61).

$_{33}As$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(As) = 3{,}83 \pm 0{,}09$ (Li-D) (137).
$\sigma\,(As) = 3{,}39 \pm 0{,}13$ (D-D; 2,38—2,50 MeV) (137)
$(^{75}_{33}As)\ \sigma_A = 8{,}3 \cdot 10^{-3}$ ($ThC''\gamma$-D; 0,22 ± 0,04 MeV) (91).
$\sigma\,(As) = 4{,}7$ (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$(^{76}_{33}As)\ \sigma_A = (3{,}2 \pm 0{,}2) \cdot 10^{-2}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma\ (As) = 8{,}6$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(As) = 7{,}1$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s\,(As) = 6{,}1 \pm 0{,}8$ (D-Neutronen) (157).
$\sigma_A\,(As_2O_5) = 6{,}5$ (thermische Neutronen) (302).

Selen

$_{34}Se$- (n,γ) Prozesse

1. $^{82}_{34}Se + {}^1_0n = {}^{83}_{34}Se + \gamma$ (62, 285).
2. $^{78}_{34}Se + {}^1_0n = {}^{79}_{34}Se + \gamma$ (63, 43).
3. $^{80}_{34}Se + {}^1_0n = {}^{79}_{34}Se + 2{}^1_0n$ (63, 43).
4. $^{76}_{34}Se + {}^1_0n = {}^{76}_{33}As + {}^1_1H$ (174).
5. $^{78}_{34}Se + {}^1_0n = {}^{78}_{33}As + {}^1_1H$ (174).

Gleichung 3. Intensität stark (43).
Gleichung 2. Intensität stark (43).

$_{34}Se$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 4{,}05 \pm 0{,}16$ (D-D; $2{,}88 \pm 0{,}05$ MeV) (138).
$\sigma\,(Se) = 4{,}5$ (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
σ_A kleiner $3 \cdot 10^{-4}$ ($ThC''\gamma$-D; $0{,}22 \pm 0{,}04$ MeV) (91).

$\sigma\,(Se) = 20{,}4$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma\,(Se) = 19$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Se) = 12{,}7$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s\,(Se) = 12{,}0 \pm 0{,}7$ (D-Neutronen) (157).
$\sigma_A\,(H_2SeO_3) = 11{,}5$ (thermische Neutronen) (302).

Brom

$_{35}Br$- (n,γ) Prozesse

1. $^{79}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{76}_{33}As + {}^4_2He$ (63, 174).
2. $^{81}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{78}_{33}As + {}^4_2He$ (109, 63, 174).
3. $^{81}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{81}_{34}Se + {}^1_1H$ (63).
4. $^{79}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{79}_{34}Se + {}^1_1H$ (43).
5. $^{79}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{80}_{35}Br + \gamma$ (43).
6. $^{81}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{80}_{35}Br + 2{}^1_0n$ (43).
7. $^{81}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{82}_{35}Br + \gamma$ (64).
8. $^{79}_{35}Br + {}^1_0n = {}^{78}_{35}Br + 2{}^1_0n$ (63).

Gleichung 6. Verstärkung bei Verwendung langsamer Neutronen 10fach (33). Anregung s. (33).
Gleichung 8. Intensität sehr stark (43).

$_{35}Br$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(KBr) = 3{,}21 \pm 0{,}23$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(KBr) = 2{,}69 \pm 0{,}33$ (*D-D*; 2,38—2,50 MeV) (137).
$(^{79}_{35}Br)\ \sigma_A = 1{,}60 \cdot 10^{-2}$ (*ThC''γ-D*; 0,22 ± 0,04 MeV) (91).
$(^{81}_{35}Br)\ \sigma_A = 3{,}01 \cdot 10^{-3}$ (*ThC''γ-D*; 0,22 ± 0,04 MeV) (91).
$\sigma\,(NaBr) = 6{,}6$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$(^{80}_{35}Br)\ \sigma_A = (7{,}6 \pm 0{,}4) \cdot 10^{-2}$ (*Raγ-Be*; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma\,(KBr) = 11{,}8$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(KBr)$ = kleiner 7 (langsame Neutronen) (42).
$\sigma = 7{,}3$ (*C*-Neutronen) (65).
$\sigma = 740$ (*Rh*) (65).
$\sigma_A\,(NaBr) = 7$ (thermische Neutronen) (302).

Rubidium

$_{37}Rb$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{85}_{37}Rb + {}^{1}_{0}n = {}^{82}_{35}Br + {}^{4}_{2}He$ (63).
2. $^{85}_{37}Rb + {}^{1}_{0}n = {}^{86}_{37}Rb + \gamma$ (43).
3. $^{87}_{37}Rb + {}^{1}_{0}n = {}^{88}_{37}Rb + \gamma$ (63).
4. $^{85}_{37}Rb + {}^{1}_{0}n = {}^{84}_{37}Rb + 2{}^{1}_{0}n$ (43).

Gleichung 2. Intensität sehr stark (43).
Gleichung 4. Intensität sehr stark (43) s. a. (110).

Strontium

$_{38}Sr$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{88}_{38}Sr + {}^{1}_{0}n = {}^{85}_{37}Rb + {}^{4}_{2}H$ (43).
2. $^{88}_{38}Sr + {}^{1}_{0}n = {}^{88}_{38}Sr + 2{}^{1}_{0}n$ (43, 66).
3. $^{88}_{38}Sr + {}^{1}_{0}n = {}^{89}_{38}Sr + \gamma$ (308, 175).

$_{38}Sr$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(SrO) = 5{,}22 \pm 0{,}21$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(SrCO_3^{\circ}) = 4{,}30 \pm 0{,}37$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(SrO) = 4{,}14 \pm 0{,}21$ (*D-D*; 2,38—2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(SrO) = 5{,}8$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(SrS) = 9$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(SrS) = 9{,}5$ (langsame Neutronen) (42).

Yttrium

$_{39}Y$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{89}_{39}Y + {}^{1}_{0}n = {}^{86}_{37}Rb + {}^{4}_{2}He$ (43).
2. $^{89}_{39}Y + {}^{1}_{0}n = {}^{90}_{39}Y + \gamma$ (66).
3. $^{89}_{39}Y + {}^{1}_{0}n = {}^{88}_{39}Y + 2{}^{1}_{0}n$ (66).

Vergleiche auch (111).

$_{39}Y$-Wirkungsquerschnitte

$(^{90}_{39}Y)\ \sigma_A = (1{,}9 \pm 0{,}2) \cdot 10^{-3}$ (*Raγ-Be*; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma_s\,(Y_2O_3)$ kleiner 14 (langsame Neutronen) (42).
$\sigma \sim 4$ (langsame Neutronen) (nach einer privaten Mitteilung von H. Reddemann und H. Bomke.

Zirkon

Keine Umwandlungsgleichungen. Vgl. (43, 40, 110, 111).

$_{40}Zr$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Zr) = 10{,}7$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Zr)$ = kleiner 16 (langsame Neutronen) (42).

Niob

$_{41}Nb$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{93}_{41}Nb + {}^{1}_{0}n = {}^{90}_{39}Y + {}^{4}_{2}He$ (112).
2. $^{93}_{41}Nb + {}^{1}_{0}n = {}^{94}_{41}Nb + 2{}^{1}_{0}n$ (112).
3. $^{93}_{41}Nb + {}^{1}_{0}n = {}^{94}_{41}Nb + \gamma$ (112).

Vergleiche auch (40, 43, 110).

$_{41}Nb$-Wirkungsquerschnitte

σ ungefähr 14 (geschätzt) (langsame Neutronen) (110).
$\sigma_s\,(Nb_2^{\circ}) = 5$ (langsame Neutronen) (112).

Molybdän

$_{42}Mo$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{92}_{42}Mo + {}^{1}_{0}n = {}^{93}_{42}Mo + \gamma$ (19).
2. $^{98}_{42}Mo + {}^{1}_{0}n = {}^{99}_{42}Mo + \gamma$ (5, 19).
3. $^{92}_{42}Mo + {}^{1}_{0}n = {}^{91}_{40}Mo + 2{}^{1}_{0}n$ (43).

Vgl. (40, 111, 112, 176).
Gleichung 3. Intensität stark (43).

$_{42}Mo$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 4{,}06 \pm 0{,}14$ (*D-D*; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
$\sigma\,(Mo) = 7{,}1$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Mo) = 6{,}7$ (langsame Neutronen) (42).

Masurium

Vgl. (113).

Ruthenium

$_{44}Ru$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{104}_{44}Ru + {}^{1}_{0}n = {}^{101}_{42}Ru + \gamma$ (67, 114).
2. $^{104}_{44}Ru + {}^{1}_{0}n = {}^{103}_{44}Ru + \gamma$ (114).
3. $^{104}_{44}Ru + {}^{1}_{0}n = {}^{103}_{43}Ru + 2{}^{1}_{0}n$ (114).

$_{44}Ru$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Ru) = 12{,}5$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Ru) = 5{,}9$ (langsame Neutronen) (42).

Rhodium

$_{45}Rh$- $(n,\text{-})$ Prozesse

1. $^{103}_{45}Rh + {}^{1}_{0}n = {}^{104}_{45}Rh + \gamma$ (107, 115).
2. $^{103}_{45}Rh + {}^{1}_{0}n = {}^{105}_{45}Rh + \gamma$ (107, 115).

Gleichung 1. Intensität für schnelle Neutronen 3fach, für langsame Neutronen 11fach stärker als nach Gleichung 2 (68). Intensität 80–90 Proz. der der *Ag*-Aktivität (2,5 min) (87). Verstärkung bei Verwendung langsamer Neutronen 60fach (36).

Gleichung 2. Verstärkung bei Verwendung langsamer Neutronen 20fach (115).

${}_{45}Rh$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma_A = 6100$ (*Rh*) (177).
0,17 eV für totale Breite der Resonanzstelle, $1{,}6 \cdot 10^{-3}$ Neutronenbreite (177, 178). Maximum der Absorption bei 0,9 eV (303). Resonanzstellen s. a. (304).

$\sigma = 170$ (langsame Neutronen) (49).
$\sigma\,(Rh) = 115$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma = 102$ (*C*-Neutronen) (65).
$\sigma_s\,(Rh)$ vergleichsweise klein (42).

Palladium

${}_{46}Pd$- (n,γ) Prozesse

1. ${}^{110}_{46}Pd + {}^{1}_{0}n = {}^{111}_{46}Pd + \gamma$ (68, 43).
2. ${}^{108}_{46}Pd + {}^{1}_{0}n = {}^{109}_{46}Pd + \gamma$ (68, 43).

Gleichung 2. Intensität schwach (43).

${}^{*}_{46}Pd$-Wirkungsquerschnitte

$({}^{108}_{46}Pd)\ \sigma_A = 2{,}5 \cdot 10^{-2}$ (*ThC''γ-D*; 0,22 ± 0,04 MeV) (169).

$\sigma\,(Pd) = 10$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Pd) = 3$ (langsame Neutronen) (42)

Silber

${}_{47}Ag$- (n,γ) Prozesse

1. ${}^{107}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n = {}^{104}_{45}Rh + {}^{4}_{2}He$ (94).
2. ${}^{109}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n = {}^{110}_{47}Ag + \gamma$ (68).
3. ${}^{107}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n = {}^{108}_{47}Ag + \gamma$ (69, 70).
4. ${}^{109}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n = {}^{108}_{47}Ag + 2{}^{1}_{0}n$ (69, 70).
5. ${}^{107}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n = {}^{106}_{47}Ag + 2{}^{1}_{0}n$ (69, 70).

Gleichung 1. Intensität 800–1000 Proz. der der *Ag*-Aktivität (2,5 min) (87). Resonanzstelle für Neutronen von 1–3 eV (33).

Gleichung 3. (Gleichung 2 u. 3). Intensität wie bei Gleichung 1. Verstärkung bei Verwendung langsamer Neutronen 21fach (69).
E_n mindestens 30–85 eV (25 min-Periode) (33).

Gleichung 4. $E = 1$; 0,7; 0,3 MeV (107)
Vgl. auch (117, 126).

${}_{47}Ag$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Ag) = 3{,}56 \pm 0{,}12$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(Ag) = 4{,}30 \pm 0{,}17$ (*D-D*; 2,38–2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(Ag) = 3{,}57 \ldots 3{,}81 \pm 0{,}15$ (*D-D*; 2,1 – 2,8 MeV) (139).
$\sigma_A = 0{,}7$ (*D-D*; 2,5 MeV) (47).
$({}^{107}_{47}Ag)\ \sigma_A = 0{,}03$ (*ThC''γ-D*; 0,22 ± 0,04 MeV) (169).
$({}^{109}_{47}Ag)\ \sigma_A = 0{,}046$ (*ThC''γ-D*; 0,22 ± 0,04 MeV) (169).
$\sigma\,(Ag) = 5{,}5$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$({}^{108}_{47}Ag)\ \sigma = 0{,}1 \pm 0{,}06$ (*Raγ-Be*; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma = 97$ (langsame Neutronen) (49).
$\sigma\,(Ag) = 63$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma\,(Ag) = 55$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Ag)$ = vergleichsweise klein (42).
$\sigma_s\,(Ag) = 9{,}1 \pm 0{,}8$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma = 535$ (*C*-Neutronen) (65).
$\sigma_s \sim 1$ (*C*-Neutronen) (157).
$\sigma = 3560$ (*Ag*) (65).

Cadmium

${}_{48}Cd$- (n,γ) Prozesse

1. ${}^{106}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{103}_{47}Ag + {}^{4}_{1}H$ (71, 43).
2. ${}^{108}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{108}_{47}Ag + {}^{1}_{1}H$ (118).
3. ${}^{110}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{110}_{47}Ag + {}^{1}_{1}H$ (118).
4. ${}^{111}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{111}_{47}Ag + {}^{1}_{1}H$ (118).
5. ${}^{112}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{112}_{47}Ag + {}^{1}_{1}H$ (72, 118).
6. ${}^{116}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{117}_{48}Cd + \gamma$ (43, 72).
7. ${}^{110}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{109}_{48}Cd + 2{}^{1}_{0}n$ (43).
8. ${}^{114}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{115}_{48}Cd + \gamma$ (176).
9. ${}^{116}_{48}Cd + {}^{1}_{0}n = {}^{115}_{48}Cd + 2{}^{1}_{0}n$ (179).

Gleichung 6. Intensität 5fach kleiner als die der Gleichung 1–5.

Gleichung 7. Intensität stark (43).

Vergleiche auch (119, 120, 121).

1. Resonanzgruppe $E = 0{,}17$ eV. Mittlere Energie der Resonanzgruppen ~ 2 eV (171).

${}_{48}Cd$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 3{,}71 \pm 0{,}15$ (*Li-D*) (137).
$\sigma = 4{,}07 \pm 0{,}17$ (*D-D*; 2,38–2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(Cd) = 3{,}75 \ldots 4{,}14 \pm 0{,}15$ (*D-D*; 2,1 – 2,8 MeV) (139).
$\sigma = 4{,}9$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma = 4500$ (langsame Neutronen) (49).
$\sigma\,(Cd) = 3300$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Cd) = 3{,}7 \pm 0{,}4$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_1\,(CdNO_3)_2 = 2900$ (thermische Neutronen) (302).

σ (Cd) = 2640 (langsame Neutronen) (nach einer privaten Mitteilung von H. Reddemann u. H. Bomke).
Absorptionsgrenzen für langsame Neutronen 0,41 eV (73); 0,37 (74).
Obere Grenze der Cd-Absorption bei 0,15 eV (286).
Maximum der Cd-Resonanz 0,1 eV (286).
E_n (Resonanz) = 2,1 ± 1,2 eV (180).

Indium

$_{49}In$- (n,-) Prozesse

1. $^{115}_{49}In + ^{1}_{0}n = ^{112}_{48}Cd + ^{4}_{2}He$ (118).
2. $^{115}_{49}In + ^{1}_{0}n = ^{116}_{49}In + \gamma$ (43, 310).
3. $^{113}_{49}In + ^{1}_{0}n = ^{113}_{41}In + 2^{1}_{0}n$ (55, 122).
4. $^{113}_{49}In + ^{1}_{0}n = ^{114}_{49}In + \gamma$ (123, 310).

Gleichung 2. Gleichung 1 und Gleichung 2 haben gleiches Intensitätsverhältnis für schnelle und langsame Neutronen. Verstärkung 12fach (5). Resonanzstellen für Neutronen von 1–5 eV (33).
Gleichung 4. Intensität stark; Resonanzstellen s. (125). E_γ = 0,2; 0,4; 1,0; 1,3 und 1,8 MeV (124).

$_{49}In$-Wirkungsquerschnitte

($^{116}_{49}In$) $\sigma_A = (4{,}7 \pm 0{,}4) \cdot 10^{-2}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).
$\sigma_A \geq 20000$ (In) (181).
Selbstabsorption von In 50 ± 10 $cm^2 g^{-1}$ (182).
σ_s = sehr klein (D-Neutronen) (157).
Maximum der Absorption bei 0,9 eV (303).
Resonanzstellen s. a. (304).

Zinn

$_{50}Sn$- (n,-) Prozesse

1. $^{116}_{50}Sn + ^{1}_{0}n = ^{116}_{49}In + ^{1}_{1}H$ (43).
2. $^{124}_{50}Sn + ^{1}_{0}n = ^{125}_{50}Sn + \gamma$ (37, 40).
3. $^{120}_{50}Sn + ^{1}_{0}n = ^{121}_{50}Sn + \gamma$ (37, 40).

$_{50}Sn$-Wirkungsquerschnitte

σ (Sn) = 3,60 ± 0,13 (Li-D) (137).
σ (Sn) = 4,39 ± 0,16 (D-D; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
σ (Sn) = 3,82 ± 0,19 (D-D; 2,38–2,50 MeV) (137).
σ (Sn) = 3,82 ... 4,15 ± 0,14 (D-D; 2,1 – 2,8 MeV) (139).

Abhängigkeit des Querschnittes vom Streuwinkel:

σ_s (Sn) = 0,760 ± 0,058 für 23° (D-D-Neutronen) (140).
σ_s (Sn) = 0,758 ± 0,043 für 33° (D-D-Neutronen) (140).
σ_s (Sn) = 0,382 ± 0,028 für 44° (D-D-Neutronen) (140).
σ_s (Sn) = 0,335 ± 0,045 für 55° (D-D-Neutronen) (140).
σ (Sn) = 5,2 (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

σ (Sn) = 4,0 (langsame Neutronen) (7).
σ_s (Sn) = 4,9 (langsame Neutronen) (42)
σ_s = 4,9 ± 1,3 (D-Neutronen) (157).

Antimon

$_{51}Sb$- (n,-) Prozesse

1. $^{121}_{51}Sb + ^{1}_{0}n = ^{122}_{51}Sb + \gamma$ (75, 43).
2. $^{123}_{51}Sb + ^{1}_{0}n = ^{124}_{51}Sb + \gamma$ (75).
3. $^{121}_{51}Sb + ^{1}_{0}n = ^{120}_{51}Sb + 2^{1}_{0}n$ (43, 62).

Gleichung 1. Intensität 35–50 Proz. der der Ag-Aktivität (2,5 min) (87). Gleichung 1 u. 2 s. a. (126).
Gleichung 3. Intensität stark (62).

$_{51}Sb$-Wirkungsquerschnitte

σ (Sb) = 4,36 ± 0,13 (Li-D) (137).
σ (Sb) = 4,88 ± 0,16 (D-D; 2,38 – 2,50 MeV) (137).
σ (Sb) = 4,50 ... 4,80 ± 0,14 (D-D; 2,1 – 2,8 MeV) (139).
($^{121}_{51}Sb$) $\sigma_A = 1{,}10 \cdot 10^{-2}$ ($ThC''\gamma$-D; 0,22 ± 0,04 MeV) (91).
σ (Sb) = 5,4 (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
($^{122;\,124}_{51}Sb$) $\sigma_A = (6{,}3 \pm 0{,}6) \cdot 10^{-2}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

σ (Sb) = 8,1 (langsame Neutronen) (7).
σ_s (Sb) = 6,5 (langsame Neutronen) (42).
σ_s = 3,0 ± 1,0 (D-Neutronen) (157).
σ_s = 1,7 (C-Neutronen) (157).

Tellur

$_{52}Te$- (n,-) Prozesse

1. $^{120}_{52}Te + ^{1}_{0}n = ^{121}_{52}Te + \gamma$ (43, 62, 127).
2. $^{130}_{52}Te + ^{1}_{0}n = ^{129}_{52}Te + 2^{1}_{0}n$ (43, 127).
3. $^{128}_{52}Te + ^{1}_{0}n = ^{129}_{52}Te + \gamma$ (128).

weitere Te(n,-)-Prozesse s.a. (309).

Gleichung 1. Intensität stark; auch mit schnellen Neutronen beobachtet (127).
Gleichung 2. Anregung durch schnelle Neutronen (43).

$_{52}Te$-Wirkungsquerschnitte

σ_A kleiner $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ ($ThC''\gamma$-D; $0{,}22 \pm 0{,}04$ MeV) (91).
$\sigma\,(Te) = 8{,}2$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Te) = 5{,}3$ (langsame Neutronen) (42).

Jod

$_{53}J$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{127}_{53}J + ^{1}_{0}n = ^{128}_{53}J + \gamma$ (14, 129).
2. $^{127}_{53}J + ^{1}_{0}n = ^{126}_{53}J + 2^{1}_{0}n$ (127, 130).
3. $^{127}_{53}J + ^{1}_{0}n = ^{124}_{51}Te + ^{4}_{2}He$ (184).
4. $^{127}_{53}J + ^{1}_{0}n = ^{124}_{51}Sb + ^{4}_{2}He$ (185).

Gleichung 1. Intensität 20 Proz. der der Ag-Aktivität (2,5 min) (87).
Verstärkung bei Verwendung langsamer Neutronen 5fach (14).
E_n mindestens 30–85 eV (126).
Resonanzstellen für $E_n \sim 40$ eV und einigen 100 eV (104).

$_{53}J$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(J) = 4{,}36 \pm 0{,}19$ (Li-D) (137).
$\sigma\,(J) = 5{,}40 \pm 0{,}25$ (D-D; 2,38–2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(J) = 4{,}75 \ldots 4{,}95 \pm 0{,}20$ (D-D; 2,1–2,8 MeV) (139).
$(^{127}_{53}J)\ \sigma_A = 1{,}75 \cdot 10^{-2}$ ($ThC''\gamma$-D; $0{,}22 \pm 0{,}04$ MeV) (91).
$\sigma\,(KJ) = 6{,}6$ (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$(^{127}_{53}J)\ \sigma_A = (6{,}9 \pm 0{,}4) \cdot 10^{-2}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma\,(J) = 9{,}4$ (langsame Neutronen) (7).
σ_s vergleichsweise klein (langsame Neutronen) (42).
Resonanzstellen für Neutroneneinfang s. (182).
$\sigma_s < \sim 4{,}8$ (D-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 4{,}1$ (C-Neutronen) (157).
$\sigma_A\,(NaJ) = 6{,}8$ (thermische Neutronen) (302).

Caesium

$_{55}Cs$- $(n,-)$ Prozesse

$^{133}_{55}Cs + ^{1}_{0}n = ^{134}_{55}Cs + \gamma$ (20, 43).

Barium

$_{56}Ba$- $(n,-)$ Prozesse

$^{138}_{56}Ba + ^{1}_{0}n = ^{139}_{56}Ba + \gamma$ (43).

Intensität 2 Proz. der der Ag-Aktivität (2,5 min)
Verstärkung 8fach.

$_{56}Ba$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(BaO) = 6{,}15 \pm 0{,}22$ (Li-D) (137).
$\sigma\,(BaCO_3) = 5{,}80 \pm 0{,}37$ (Li-D) (137).
$\sigma\,(BaO) = 6{,}51 \ldots 6{,}89 \pm 0{,}27$ (D-D; 2,1–2,8 MeV) (139).
$\sigma\,(BaO) = 6{,}19 \pm 0{,}23$ (D-D; 2,38–2,50 MeV) (137).
$(^{138}_{56}Ba)\ \sigma_A =$ kleiner $2 \cdot 10^{-4}$ ($ThC''\gamma$-D; $0{,}22 \pm 0{,}04$ MeV) (91).
$\sigma_s\,(BaF_2) = 8{,}2$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_A\,(Ba(C_2H_3O_2)_2) < 1$ (thermische Neutronen) (302).

Lanthan

$_{51}La$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{139}_{57}La + ^{1}_{0}n = ^{139}_{56}Ba + ^{1}_{1}H$ (131).
2. $^{139}_{57}La + ^{1}_{0}n = ^{140}_{57}La + \gamma$ (131).
3. $^{139}_{57}La + ^{1}_{0}n = ^{138}_{57}La + 2^{1}_{0}n$ (43, 131).

$_{57}La$-Wirkungsquerschnitte

$(^{140}_{57}La)\ \sigma_A = (4 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-3}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma = 80$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma = 10$ (langsame Neutronen)[1].
$\sigma = 26 \pm 7$, $\sigma = 32 \pm 7$ (C-Neutronen)[2].

Cer

$_{58}Ce$- $(n,-)$ Prozesse

$^{140}_{58}Ce + ^{1}_{0}n = ^{139}_{58}Ce + 2^{1}_{0}n$ (131).

$_{58}Ce$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 25$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma \sim 15$ (langsame Neutronen)[1].
$\sigma = 3 \pm 4$, $\sigma\,(Ce$ unrein$) = 106 \pm 8$ (C-Neutronen)[2].

Praseodym

$_{59}Pr$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{141}_{59}Pr + ^{1}_{0}n = ^{142}_{59}Pr + \gamma$ (131).
2. $^{141}_{59}Pr + ^{1}_{0}n = ^{140}_{59}Pr + 2^{1}_{0}n$ (131).

$_{59}Pr$-Wirkungsquerschnitte

$(^{142}_{59}Pr)\ \sigma_A = (1{,}1 \pm 0{,}04) \cdot 10^{-2}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma = 25$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma = 3{,}5 \pm 9{,}0$ (C-Neutronen)[2].

Neodym

$_{60}Nd$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{150}_{60}Nd + ^{1}_{0}n = ^{151}_{60}Nd + \gamma$ (131).
2. $^{148}_{60}Nd + ^{1}_{0}n = ^{149}_{60}Nd + \gamma$ (131).
3. $^{146}_{60}Nd + ^{1}_{0}n = ^{147}_{60}Nd + \gamma$ (131).
4. $^{142}_{60}Nd + ^{1}_{0}n = ^{142}_{59}Pr + ^{1}_{1}H$ (131).
5. $^{148}_{60}Nd + ^{1}_{0}n = ^{147}_{60}Nd + 2^{1}_{0}n$ (131).
6. $^{150}_{60}Nd + ^{1}_{0}n = ^{149}_{60}Nd + 2^{1}_{0}n$ (131).

1) Nach einer privaten Mitteilung von H. Reddemann und H. Bomke.
2) Nach einer privaten Mitteilung von W. Riezler.

Gleichung 1 bis Gleichung 3 für langsame Neutronen.
Gleichung 4 bis Gleichung 6 für schnelle Neutronen.

$_{60}Nd$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Nd) = 220$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma = 72$ (langsame Neutronen)[1].
σ (Nd verunreinigt mit 5 Proz. La u. Pr) $= 214 \pm 20$ } (C-Neutronen)[2].
$\sigma = 65 \pm 15$ }

Samarium

$_{62}Sm$- (n,γ) Prozesse

1. $^{150}_{62}Sm + {}^{1}_{0}n = {}^{151}_{62}Sm + \gamma$ (131).
2. $^{152}_{62}Sm + {}^{1}_{0}n = {}^{153}_{62}Sm + \gamma$ (131).
3. $^{152}_{62}Sm + {}^{1}_{0}n = {}^{151}_{62}Sm + 2{}^{1}_{0}n$ (131).
4. $^{154}_{62}Sm + {}^{1}_{0}n = {}^{153}_{62}Sm + 2{}^{1}_{0}n$ (131).

Gleichung 1 und Gleichung 2 für langsame Neutronen.
Gleichung 3 und Gleichung 4 für schnelle Neutronen.

$_{62}Sm$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Sm_2O_3) = 4700$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma = 6500 - 7300$ (langsame Neutronen)[1].
$\sigma = 5960 \pm 400$ (C-Neutronen)[2].
$\sigma\ (Sm$ unrein$) = 6620 \pm 1000$ (C-Neutronen)[2].

Europium

$_{63}Eu$- (n,γ) Prozesse

1. $^{151}_{63}Eu + {}^{1}_{0}n = {}^{152}_{63}Eu + \gamma$ (131).
2. $^{153}_{63}Eu + {}^{1}_{0}n = {}^{152}_{63}Eu + 2{}^{1}_{0}n$ (131).
3. $^{151}_{63}Eu + {}^{1}_{0}n = {}^{150}_{63}Eu + 2{}^{1}_{0}n$ (131).

Gleichung 1. $E_\gamma = 0{,}045$; 0,31 und 0,9 MeV (124).
Gleichung 2 und Gleichung 3 für schnelle Neutronen (131); vgl. auch (186).

$_{63}Eu$-Wirkungsquerschnitte

($^{152;\,154}_{63}Eu$) $\sigma_A = (9{,}5 \pm 0{,}5) \cdot 10^{-2}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

$\sigma = 2700$ (langsame Neutronen)[1].
$\sigma = 3810 \pm 360$ } (C-Neutronen)[2]
$\sigma = 4120 \pm 670$ }
σ (geschätzt) $= 1000$ (langsame Neutronen) (7).

1) Nach einer privaten Mitteilung von H. Reddemann und H. Bomke.
2) Nach einer privaten Mitteilung von W. Riezler.

Gadolinium

$_{64}Gd$- (n,γ) Prozesse

1. $^{158}_{64}Gd + {}^{1}_{0}n = {}^{159}_{64}Gd + \gamma$ (131).
2. $^{160}_{64}Gd + {}^{1}_{0}n = {}^{159}_{64}Gd + 2{}^{1}_{0}n$ (131).

Gleichung 1 für langsame Neutronen.
Gleichung 2 für schnelle Neutronen. Über eine (Elektronen-)Strahlung (187).

$_{64}Gd$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\ (Gd_2O_3) = 30000$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma = 22500$ (langsame Neutronen)[1].
$\sigma = 35700 \pm 3300$ } (C-Neutronen)[2]
$\sigma = 29200 \pm 1850$ }

Terbium

$_{65}Tb$- (n,γ) Prozesse

1. $^{159}_{65}Tb + {}^{1}_{0}n = {}^{159}_{64}Gd + {}^{1}_{1}H$ (131).
2. $^{159}_{65}Tb + {}^{1}_{0}n = {}^{160}_{65}Tb + \gamma$ (131).
3. $^{159}_{65}Tb + {}^{1}_{0}n = {}^{158}_{65}Tb + 2{}^{1}_{0}n$ (131).

Gleichung 1 für schnelle Neutronen (131).

$_{65}Tb$-Wirkungsquerschnitte

($^{160}_{65}Tb$) $\sigma_A = (1{,}8 \pm 0{,}2) \cdot 10^{-1}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

Dysprosium

$_{66}Dy$- (n,γ) Prozesse

1. $^{164}_{66}Dy + {}^{1}_{0}n = {}^{165}_{66}Dy + \gamma$ (131).
2. $^{160}_{66}Dy + {}^{1}_{0}n = {}^{159}_{66}Dy + 2{}^{1}_{0}n$ (131).

Intensität sehr stark. Beide Prozesse für schnelle Neutronen (131).

$_{66}Dy$-Wirkungsquerschnitte

($^{164}_{66}Dy$) σ_A kleiner $0{,}7 \cdot 10^{-2}$ ($ThC''\gamma$-D; $0{,}22 \pm 0{,}04$ MeV) (91).
$\sigma = 780$ (langsame Neutronen)[1].
$\sigma = 863 \pm 53$ (C-Neutronen)[2].

Holmium

$_{67}Ho$- (n,γ) Prozesse

1. $^{16}_{67}Ho + {}^{1}_{0}n = {}^{165}_{67}Ho + \gamma$ (131).
2. $^{163}_{67}Ho + {}^{1}_{0}n = {}^{164}_{67}Ho + 2{}^{1}_{0}n$ (131).

Für schnelle Neutronen (131).

$_{67}Ho$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 52$ (langsame Neutronen)[1].
$\sigma = 47 \pm 26$ (C-Neutronen)[2].

1) Nach einer privaten Mitteilung von H. Reddemann und H. Bomke.
2) Nach einer privaten Mitteilung von W. Riezler.

Erbium

$_{68}Er$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{170}_{68}Er + ^{1}_{0}n = ^{171}_{68}Er + \gamma$ (131).
2. $^{168}_{68}Er + ^{1}_{0}n = ^{169}_{68}Er + \gamma$ (131).
3. $^{166}_{68}Er + ^{1}_{0}n = ^{165}_{67}Er + 2^{1}_{0}n$ (131).
4. $^{170}_{68}Er + ^{1}_{0}n = ^{169}_{68}Er + 2^{1}_{0}n$ (131).

Gleichung 1 und Gleichung 2 für langsame Neutronen.
Gleichung 3 und Gleichung 4 für schnelle Neutronen (131).

$_{68}Er$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 185$ (langsame Neutronen) [1]).
$\sigma = 233 \pm 46$ (C-Neutronen) [2]).

Thulium

$_{69}Tu$- $(n,-)$ Prozesse

$^{169}_{69}Tu + ^{1}_{0}n = ^{170}_{69}Tu + \gamma$ (39).

Intensität stark.

$_{69}Tu$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 69 \pm 26$ (C-Neutronen) [2]).
$\sigma = 114$ (langsame Neutronen) [1]).

Ytterbium

$_{70}Yb$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{174}_{70}Yb + ^{1}_{0}n = ^{175}_{70}Yb + \gamma$ (131).
2. $^{176}_{70}Yb + ^{1}_{0}n = ^{175}_{70}Yb + 2^{1}_{0}n$ (131).

Gleichung 1 für langsame Neutronen.
Gleichung 2 für schnelle Neutronen (131).

$_{70}Yb$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma = 50$ (langsame Neutronen) [1]).
$\sigma = 46 \pm 28$ (C-Neutronen) [2]).

Cassiopeium

$_{71}Cp$-Wirkungsquerschnitte

$(^{176}_{71}Cp)$ $\sigma_A = (1{,}7 \pm 0{,}1) \cdot 10^{-1}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).
$\sigma = 165$ (langsame Neutronen) [1]).
$\sigma = 99 \pm 27$ (C-Neutronen) [2]).

Hafnium

$_{72}Hf$ $(n,-)$ Prozesse

$^{180}_{72}Hf + ^{1}_{0}n = ^{181}_{72}Hf + \gamma$ (vgl. 188).

1) Nach einer privaten Mitteilung von H. Reddemann und H. Bomke.
2) Nach einer privaten Mitteilung von W. Riezler.

Tantall

$_{73}Ta$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{181}_{73}Ta + ^{1}_{0}n = ^{182}_{73}Ta + \gamma$ (132).
2. $^{181}_{73}Ta + ^{1}_{0}n = ^{180}_{73}Ta + 2^{1}_{0}n$ (132).

$_{73}Ta$-Wirkungsquerschnitte

σ $(Ta) = 27$ (langsame Neutronen) (7).
σ_s $(Ta) = 10$ (langsame Neutronen) (42).

Wolfram

$_{74}W$- $(n,-)$ Prozesse vgl. (311).

$_{74}W$-Wirkungsquerschnitte

σ $(W) = 5{,}40 \pm 0{,}15$ (Li-D) (137).
σ $(W) = 6{,}21 \pm 0{,}23$ (D-D; 2,38 — 2,50 MeV) (137).
σ $(W) = 5{,}77 \ldots 6{,}10 \pm 0{,}19$ (D-D; 2,1—2,8 MeV) (139).
$\sigma_A = 2{,}6 \cdot 10^{-3}$ ($ThC''\gamma$-D; 0,22 $\pm$ 0,04 MeV) (91).
σ $(W) = 23$ (langsame Neutronen) (7).
σ_s $(W) = 7{,}8$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s = 9{,}3 \pm 2$ (D-Neutronen) (157).
Spaltungsprozeß des Wolframs? s. (168, 189).

Rhenium

$_{75}Re$- $(n,-)$ Prozesse

$^{186}_{75}Re + ^{1}_{0}n = ^{187}_{75}Re + 2^{1}_{0}n$ (305).
$^{185}_{75}Re + ^{1}_{0}n = ^{187}_{75}Re + 2^{1}_{0}n$ (305).

$_{75}Re$-Wirkungsquerschnitte

σ $(Re) = 89$ (langsame Neutronen) (7).

Osmium

$_{76}Os$-Wirkungsquerschnitte

σ $(Os) = 27$ (langsame Neutronen) (7).
σ_s $(Os) = 10{,}8$ (langsame Neutronen) (42).

Iridium

$_{77}Ir$- $(n,-)$ Prozesse

1. $^{191}_{77}Ir + ^{1}_{0}n = ^{192}_{77}Ir + \gamma$ (77).
2. $^{191}_{77}Ir + ^{1}_{0}n = ^{192}_{77}Ir + \gamma$ (77).
3. $^{193}_{77}Ir + ^{1}_{0}n = ^{192}_{77}Ir + 2^{1}_{0}n$ (77).

Gleichung 1. Resonanzstelle für Neutronen von 1—5 eV (33).
Resonanzstellen s. a. (133).

$_{77}Ir$-Wirkungsquerschnitte

$(^{1\cdot 2}_{77}{}^{194}Ir)$ $\sigma_A = (1{,}3$ oder $2{,}0 \pm 0{,}06) \cdot 10^{-1}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).
$\sigma = 410$ (langsame Neutronen) (42).
σ $(Ir) = 285$ (langsame Neutronen) (7).
σ_s vergleichsweise klein (42).

Platin

$_{78}Pt$- (n,γ) Prozesse

1. $^{195}_{78}Pt + {}^{1}_{0}n = {}^{196}_{78}Pt + \gamma$ (77).
2. $^{196}_{78}Pt + {}^{1}_{0}n = {}^{197}_{78}Pt + \gamma$ (77).

$_{78}Pt$-Wirkungsquerschnitte

σ (Pt) = 21,5 (langsame Neutronen) (42).
σ (Pt) = 25 (langsame Neutronen) (7).
σ_s (Pt) = 8,3 (langsame Neutronen) (42).

Gold

$_{79}Au$- (n,γ) Prozesse

1. $^{197}_{79}Au + {}^{1}_{0}n = {}^{198}_{79}Au + \gamma$ (77).
2. $^{197}_{79}Au + {}^{1}_{0}n = {}^{196}_{79}Au + 2{}^{1}_{0}n$ (77).

Spaltungsprozeß? s. (168).

$_{79}Au$-Wirkungsquerschnitte

($^{197}_{79}Au$) $\sigma_A = 2{,}3 \cdot 10^{-2}$ ($ThC''\gamma$-D; 0,22 ± 0,04 MeV) (91).
($^{198}_{79}Au$) $\sigma_A = (1{,}3 \pm 0{,}08) \cdot 10^{-1}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).

σ = 103 (langsame Neutronen) (49).
σ = 88 (langsame Neutronen) (7).

Quecksilber

$_{80}Hg$- (n,γ) Prozesse

1. $^{204}_{80}Hg + {}^{1}_{0}n = {}^{205}_{80}Hg + \gamma$ (77).
2. $^{204}_{80}Hg + {}^{1}_{0}n = {}^{203}_{80}Hg + 2{}^{1}_{0}n$ (77).

Neutronenresonanzstelle bei ~ 10 eV (171).
E_n (Resonanz) = 0,6 ± 7,3 eV (180).
Gleichung 1 s. a. (126).

$_{80}Hg$-Wirkungsquerschnitte

σ (HgO) = 5,47 ± 0,19 (Li-D) (137).
σ = 5,34 ± 0,20 (D-D; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
σ (HgO) = 5,13 ± 0,23 (D-D; 2,38–2,50 MeV) (137).
σ (Hg) = 4,75 … 5,27 ± 0,22 (D-D; 2,1–2,8 MeV) (139).
σ (Hg) = 6,8 (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

σ = 355 (langsame Neutronen) (49).
σ = 380 (langsame Neutronen) (7).
σ_s = vergleichsweise klein (langsame Neutronen) (42).
σ_s = 12,0 ± 1 (D-Neutronen) (157).
Wirkungsquerschnitte von Hg-Verbindungen für langsame Neutronen:
σ_s (Hg) = 5 (langsame Neutronen) (166), vgl. aber (313).
(HgS) σ_s = 30 additiv: 6 (langsame Neutronen) (166).
σ_s (Hg) = 28 (C-Neutronen) (313).
σ_s (Hg) = 12 (D-Neutronen) (313).

Thallium

$_{81}Tl$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma_A = 1{,}0 \cdot 10^{-3}$ ($ThC''\gamma$-D; 0,22 ± 0,04 MeV) (91).
($^{204,\,206}_{81}Tl$) $\sigma_A = (1{,}3$ oder $0{,}6 \pm 0{,}3) \cdot 10^{-2}$ ($Ra\gamma$-Be; 0,04 u. 0,45 MeV) (169).
σ = 11 (langsame Neutronen) (7).
σ_s = 14,2 (langsame Neutronen) (42).

Blei

$_{82}Pb$-Wirkungsquerschnitte

σ (Pb) = 5,10 ± 0,13 (Li-D) (137).
σ (Pb) = 6,74 ± 0,24 (D-D; 2,88 ± 0,04 MeV) (138).
σ (Pb) = 5,25 ± 0,15 (D-D; 2,38–2,50 MeV) (137).
σ (Pb) = 7,2 (C-D; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
Abhängigkeit des Streuquerschnittes vom Streuwinkel s. (155, 164).
σ_s (Pb) = 2,44 ± 0,18 für 23° (D-D-Neutronen) (140).
σ_s (Pb) = 1,67 ± 0,06 für 33° (D-D-Neutronen) (140).
σ_s (Pb) = 0,73 ± 0,05 für 44° (D-D-Neutronen) (140).
σ_s (Pb) = 0,17 ± 0,08 für 55° (D-D-Neutronen) (140).
Über unelastische Stöße der Neutronen im Pb s. (105, 117, 158, 102).
σ (Pb) = 0,30 (In) (1 eV > E_n > 0,5 eV) (150, 315).

σ (Pb) = 12,5 (langsame Neutronen) (42).
σ (Pb) = 8,6 (langsame Neutronen) (7).
σ_s (Pb) = 12,0 (langsame Neutronen) (42).
σ_s = 9,8 ± 0,8 (D-Neutronen) (157).
σ_s = 5,0 (C-Neutronen) (157).
σ_i = 2,5 ± 0,2 (thermische Neutronen) (200).
Absorptionskoeffizienten verschiedener Pb-Modifikationen:
μ (Pb-Einkristall) = 0,0213 ± 0,001 (g cm^{-2}) (thermische Neutronen) (314).
μ (Pb-mikrokristallin) = 0,0275 ± 0,001 (g cm^{-2}) (thermische Neutronen) (314).

Wismuth

$_{83}Bi$- (n,γ) Prozesse

$^{209}_{83}Bi + {}^{1}_{0}n = {}^{210}_{83}Bi + \gamma$ (43).

Resonanzstellen für $E_n \sim 1$ eV und ~ 11 eV (104), vgl. auch (171).

$_{83}Bi$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma\,(Bi) = 5{,}23 \pm 0{,}22$ (*Li-D*) (137).
$\sigma\,(Bi) = 6{,}30 \pm 0{,}21$ (*D-D*; 2,38—2,50 MeV) (137).
$\sigma\,(Bi) = 7{,}7$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$\sigma\,(Bi) = 5{,}35 \ldots 6{,}01 \pm 0{,}19$ (*D-D*; 2,1—2,8 MeV) (139).

Abhängigkeit des Streuquerschnittes vom Streuwinkel.

$\sigma_s\,(Bi) = 2{,}27 \pm 0{,}12$ für 22° (*D-D*-Neutronen) (140).
$\sigma_s\,(Bi) = 1{,}35 \pm 0{,}03$ für 33° (*D-D*-Neutronen) (140).
$\sigma_s\,(Bi) = 0{,}68 \pm 0{,}05$ für 44° (*D-D*-Neutronen) (140).
$\sigma_s\,(Bi) = 0{,}24 \pm 0{,}07$ für 55° (*D-D*-Neutronen) (140).
$\sigma\,(Bi) = 8{,}34$ (*In*); (1 eV > E_n > 0,5 eV) (156, 315).

$\sigma\,(Bi) = 8{,}9$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma\,(Bi) = 8{,}2$ (langsame Neutronen) (7).
$\sigma_s\,(Bi) = 8{,}9$ (langsame Neutronen) (42).
$\sigma_s = 16 \pm 1$ (*D*-Neutronen) (157).
$\sigma_s = 9{,}2$ (*C*-Neutronen) (157).

Absorptionskoeffizienten verschiedener *Bi*-Modifikationen:

μ (*Bi*-Einkristall) $= 0{,}0184 \pm 0{,}0005$ (g cm^{-2}) (300° *K*) (314).
μ (*Bi*-Einkristall) $= 0{,}0171 \pm 0{,}0005$ (g cm^{-2}) (80° *K*) (314).
μ (*Bi*-Einkristall) $= 0{,}019 \pm 0{,}001$ (g cm^{-2}) (thermische Neutronen) (314).
γ (*Bi*-Flüssigkeit) $= 0{,}024 \pm 0{,}002$ (g cm^{-2}) thermische Neutronen) (314).

Thorium

$_{90}Th$- (*n*,-) Prozesse

1. $^{232}_{90}Th + ^{1}_{0}n = ^{220}_{88}Ra + ^{4}_{2}He$ (134).
2. $^{232}_{90}Th + ^{1}_{0}n = ^{233}_{90}Th + \gamma$ (134).
3. $^{232}_{90}Th + ^{1}_{0}n = ^{231}_{90}UY + 2^{1}_{0}n$ (134).

Weitere Literaturangaben von Arbeiten über die hier nicht angeführten Umwandlungsvorgänge, hauptsächlich über den Spaltungsprozeß s. (201—230). Resonanzniveaus für langsame Neutronen bei 2 eV und 18 eV (104).

$_{90}Th$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma_{sp} = 0{,}1$ (*D-D*-Neutronen; 2,4 MeV) (191).
$\sigma\,(ThO_2) = 7{,}3$? (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).
$\sigma_A\,(Th) = 6{,}0 \pm 0{,}3$ (thermische Neutronen) (290).

Weitere Wirkungsquerschnitte in der oben angeführten Literatur.

Protaktinium

Spaltungsprozeß s. (189, 192).

Uran

$_{92}U$- (*n*,-) Prozesse

Wegen der Umwandlungsvorgänge und des Spaltungsprozesses muß der Größe des Gebietes halber auf die Originalliteratur verwiesen werden (außer den unten angeführten Literaturstellen s. a. 231—273 und 293—300).

$_{92}U$-Wirkungsquerschnitte

$\sigma_{sp}\,(U) = 0{,}5$ (*D-D*-Neutronen; 2,4 MeV) (191).
$\sigma\,(UO_2) = 14{,}4$ (schnelle Neutronen) (193).
$\sigma\,(U) = 6 \pm 2$ (*Ra-Be*-Neutronen) (194).
$\sigma = 5$ (*Ra-Be*-Neutronen) (199).
$\sigma_{sp}\,(UO_3) = 0{,}1$ (*Rn-Be*-Neutronen) (200).
$\sigma\,(UO_3) = 17$ (*C-D*; 0,10 oder 0,18 MeV) (142).

$\sigma\,(U) = 23{,}1 \pm 0{,}5$ (langsame Neutronen) (202).
$\sigma_A = 1{,}3 \pm 0{,}45$ (langsame Neutronen) (203).
$\sigma_A = 11 \pm 0{,}3$ (langsame Neutronen) (202).
$\sigma_s = 12 \pm 3$ (langsame Neutronen) (202).
$\sigma = 20 \pm 2$ (thermische Neutronen) (201).
$\sigma_s = 15$ (thermische Neutronen) (201).
$\sigma_A = 3$ (thermische Neutronen) (201).
$\sigma_{sp} = 2$—3 (thermische Neutronen) (201).
$\sigma_{sp}\,(UO_3) = 2$ (thermische Neutronen) (200).
σ_A (Resonanz) ~ 5000 (288).
$^{235}_{92}U$ $\sigma_{sp} = 400 - 500$ (thermische Neutronen) (289).
$\sigma\,(^{238}_{92}U) = 1{,}5 \pm 0{,}2$ (thermische Neutronen) (290).
E_n für Resonanzeinfang ~ 5 eV (288). 5 eV und 30 eV (104).

Mit langsamen Neutronen werden verzögerte Neutronen im Uran ausgelöst. Diese Reaktion verläuft mit einem Wirkungsquerschnitt, der $\sim 1/100$ dessen der Spaltungsreaktion ist ($2{,}5 - 3 \cdot 10^{-24}$ cm^2) (195).

Bei der Spaltungsreaktion werden je Prozeß frei:

$2{,}95 \pm 0{,}5$ Neutronen (196).
2,6 Neutronen (197).
1,5—1,7 Neutronen (291).
2,3 Neutronen (198).

Je primäres Neutron werden 1,4 Neutronen frei (198).

Energieverteilung der Neutronen s. (198).

Freiwerdende Energie je Spaltungsprozeß ~ 175 MeV (198).

Tabellarische Zusammenstellung von Wirkungsquerschnitten

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Wirkungsquerschnitte noch einmal zusammengestellt. Dabei sind unter σ die Gesamtwirkungsquerschnitte, unter σ_A die Wirkungsquerschnitte, die auf Absorption zurückzuführen sind und unter σ_s die Streuquerschnitte der einzelnen Elemente angeführt. Die Wirkungsquerschnitte von Spaltungsprozessen sind unterstrichen und in die Rubrik für Absorptionsquerschnitte eingefügt. Falls mehrere Werte für eine dieser Größen gefunden wurden, so sind hier nur der größte und der kleinste Wert angegeben.

	Schnelle Neutronen			Mittelschnelle Neutronen			Langsame Neutronen		
	σ	σ_A	σ_s	σ	σ_A	σ_s	σ	σ_A	σ_s
$_1H$	2,74 1,74 (0,61 ?)		~ 1,3 ~ 1	5 3,3			56 14,8	0,27	47,5 14,8
$_1D$	2,25 1,68						4,0	< 0,03	7 5,7
$_2He$							1,51		
$_3Li$	2,04 2,01			2,2 1,0			45		
$_4Be$				2,9 2,6			5,3		6,9
$_5B$	2,27 1,65			4,2			360	3000 (für Resonanzneutronen)	
$_6C$	1,97 1,13			4,8 2,1			4,83 4,1	< 0,01	4,83 3,0
$_7N$	2,35 1,3 (1,22)	0,2	0,97	2,1 1,6			13 11,3	1,3 1,2	8,2
$_8O$	1,41 1,14			3,0 1,8			4,1 3,3	< 0,01	4,2 ~ 3
$_9F$	3,18 1,37			0,4			4,1 2,5	< 0,5	
$_{10}Ne$							2,64	< 0,5	
$_{11}Na$	3,33 2,35			3,5 3,2			4,2		
$_{12}Mg$	2,54 1,79			8,4 3,3			3,5		6,8 3,3
$_{13}Al$	3,15 2,12		0,372 0,207	4,0 3,7	$3 \cdot 10^{-4}$		1,6 1,5		1,6 1,5
$_{14}Si$	2,95 2,00			7,2 1,4			2,5		4,2 1,7
$_{15}P$	3,24 2,71			4,4 2,4			14,7 13,6		10,4 9,1
$_{16}S$	3,12 2,23			2,6 1,0			1,4 1		1,3 1,0
$_{17}Cl$	3,42 2,23			3,8 2,7			52 39		< 10
$_{18}A$							2,51		
$_{19}K$	4,15 3,10			7,4 3,8 ?			8,2		1,5
$_{20}Ca$	4,10 3,65			4,9 ? 4,1			11,0		9,5
$_{22}Ti$	2,55 1,73			4,4			11,9		6,2
$_{23}V$					$2,1 \cdot 10^{-3}$ $9 \cdot 10^{-4}$		10		< 4

	Schnelle Neutronen			Mittelschnelle Neutronen			Langsame Neutronen		
	σ	σ_A	σ_s	σ	σ_A	σ_s	σ	σ_A	σ_s
$_{24}Cr$	3,38 3,05			3,5			4,9		3,6
$_{25}Mn$	3,82 3,02			4,9	$4,5 \cdot 10^{-3}$ $9 \cdot 10^{-4}$		14,3		8,4 2,1
$_{26}Fe$	3,20 2,55		0,655 0,175	3,7			13,6 8,5	3,5	10,3 9,0
$_{27}Co$	3,23 2,59			5,2 ?			39 35		5
$_{28}Ni$	2,92 2,48			6,6	$< 9 \cdot 10^{-4}$		20,0 15,4		19 12,4
$_{29}Cu$	2,97 2,50		0,448 0,186	3,6	$2,1 \cdot 10^{-3}$ $9 \cdot 10^{-4}$		11,9 7,5		8,6 8,0
$_{30}Zn$	3,28 2,62			3,6			4,7 4,5		8,2 5,2
$_{31}Ga$									< 4
$_{32}Ge$							75 ?		
$_{33}As$	3,83 3,39			4,7	$3,2 \cdot 10^{-2}$ $8,3 \cdot 10^{-3}$		8,6		7,1 6,1
$_{34}Se$	4,05			4,5	$< 3 \cdot 10^{-4}$		20,4 19		12,7 12,0
$_{35}Br$	3,21 2,69			6,6	$7,6 \cdot 10^{-2}$ $< 3 \cdot 10^{-3}$		740 7,3		$< 7,0$
$_{38}Sr$	5,22 4,14			5,8			9		9,5
$_{39}Y$					$1,9 \cdot 10^{-3}$		800		< 14
$_{40}Zr$							16,7		< 16
$_{41}Nb$							~ 14		5
$_{42}Mo$	4,06						7,1		6,7
$_{44}Ru$							12,5		5,9
$_{45}Rh$							170 102	6100 (für Resonanzneutronen)	Klein
$_{46}Pd$					$2,5 \cdot 10^{-2}$		10		3
$_{47}Ag$	430 356	0,7		5,5	0,1 $3 \cdot 10^{-2}$		3560 55	3560 (für Resonanzneutronen)	9,1 1
$_{48}Cd$	4,14 3,71			4,9			4500 3300		3,7
$_{49}In$					$4,7 \cdot 10^{-2}$			≥ 20000	sehr klein
$_{50}Sn$	4,39 3,60		0,760 0,335	5,2			4,0		4,9
$_{51}Sb$	4,88 4,36			5,4	$6,3 \cdot 10^{-2}$ $1,1 \cdot 10^{-2}$		8,1		6,5 1,7
$_{52}Te$					$< 1 \cdot 10^{-3}$		8,2		5,3
$_{53}J$	5,4 4,36			6,6	$6,9 \cdot 10^{-2}$ $1,75 \cdot 10^{-2}$		9,4		$< \sim 4,8$ 4,1
$_{56}Ba$	6,89 5,80				$< 2 \cdot 10^{-4}$				8,2

	Schnelle Neutronen			Mittelschnelle Neutronen			Langsame Neutronen		
	σ	σ_A	σ_s	σ	σ_A	σ_s	σ	σ_A	σ_s
$_{57}La$					$4 \cdot 10^{-3}$		80		
$_{58}Ce$							25		
$_{59}Pr$					$1{,}1 \cdot 10^{-2}$		25		
$_{62}Sm$							4700		
$_{63}Eu$					$9{,}5 \cdot 10^{-2}$		1000 geschätzt		
$_{64}Gd$							30000		
$_{65}Tb$					$1{,}82 \cdot 10^{-1}$				
$_{66}Dy$					$< 7 \cdot 10^{-3}$				
$_{71}Cp$					$1{,}7 \cdot 10^{-1}$		~400		
$_{73}Ta$							27,0		10
$_{74}W$	6,21 5,40				$2{,}6 \cdot 10^{-3}$		23		9,3 7,8
$_{75}Re$							89		
$_{76}Os$							27		10,8
$_{77}Ir$					$2{,}0 \cdot 10^{-1}$ $1{,}3 \cdot 10^{-1}$		410 285		(Klein)
$_{78}Pt$							25 21,5		8,3
$_{79}Au$					$1{,}3 \cdot 10^{-1}$ $2{,}3 \cdot 10^{-2}$		103 88		
$_{80}Hg$	5,47 4,75			6,8			380 355		12,0 5
$_{81}Tl$					$1{,}3 \cdot 10^{-2}$ $1 \cdot 10^{-3}$		11		14,2
$_{82}Pb$	6,74 5,10		0,73 0,17	7,2			12,5 8,6		12 5,0
$_{83}Bi$	6,30 5,23		0,68 0,135	7,7			8,9 8,2		16 8,9
$_{90}Th$		0,1		7,3?				6,0	
$_{92}U$	14,4	0,5		17 5	0,1		43 23,1	5000 (für Resonanzneutronen) 11 2–3	15 12

Literaturverzeichnis

1933

1) Feather, Proc. Roy. Soc. London **142**, 689.
2) Feather, Nature **130**, 257.

1934

3) Chadwick, Feather und Davies, Proc. Cambr. Phil. Soc. **30**, 357.
4) Meitner und Philipp, Zeitschr. f. Phys. **87**, 484.
5) Fermi u. a., Proc. Roy. Soc. London **146**, 484.
6) Newman und Walke, Nature **134**, 64.

1935

7) Dunning, Pegram, Fink und Mitchell, Phys. Rev. **48**, 265.
8) Dunning, Pegram, Fink und Mitchell, Phys. Rev. **47**, 970.
9) Harkins, Gans und Newson, Phys. Rev. **47**, 52.
10) Kurie, Phys. Rev. **47**, 97.
11) Bonner, Phys. Rev. **48**, 469.
12) Harkins, Gans und Newson, Phys. Rev. **47**, 795.
13) Jäckel, Zeitschr. f. Phys. **96**, 151.
14) Amaldi u. a., Proc. Roy. Soc. London **149**, 522.
15) Alichanow, Alichanian und Dzelepow, Nature **136**, 257

16) Preiswerk und Halban, C. R. **201**, 722.
17) Kurie, Richardson und Paxton, Phys. Rev. **47**, 796.
18) Rotblat, Nature **136**, 512.
19) McLennan, Grimmet und Read, Nature **135**, 147.
20) McLennan und Rann, Nature **136**, 831.

1936

21) Fleischmann, Zeitschr. f. Phys. **103**, 113.
22) Kikuchi, Aoki und Husimi, Nature **137**, 186.
23) Livingston und Hoffman, Phys. Rev. **50**, 401.
24) Mitchell, Phys. Rev. **49**, 453.
25) Bjerge und Broström, Nature **138**, 400.
26) Rusinow, Zeitschr. d. Sowjetunion **10**, 219.
27) Collie, Nature **137**, 614.
28) Amaldi und Fermi, Phys. Rev. **50**, 899.
29) Saha, Sci. and Cult. **2**, 273.
30) Nahmias und Walen, C. R. **203**, 71.
31) Anderson, Zeitschr. f. phys. Chem. (B) **32**, 237.
32) Gaertner, Turin und Crane, Phys. Rev. **49**, 791.
33) Goldsmith und Rasetti, Phys. Rev. **50**, 328.
34) Andersen, Nature **138**, 76.
35) Heyn, Nature **138**, 723.
36) Döpel, Physik. Zeitschr. **37**, 96.
37) Naidu, Nature **137**, 578.
38) Rotblat, Nature **138**, 202.
39) Curie und Preiswerk, C. R. **203**, 787.

1937

40) Nahmias und Walen, Journ. de phys. et le Radium **4**, 153.
41) Fünfer, Ann. d. Phys. **29**, 1.
42) Goldhaber und Briggs, Proc. Roy. Soc. London **162**, 127.
43) Pool, Cork und Thornton, Phys. Rev. **52**, 239.
44) Chang, Goldhaber und Sagane, Nature **139**, 962.
45) Pool, Cork und Thornton, Phys. Rev. **52**, 41.
46) Henderson und Ridenour, Phys. Rev. **52**, 40.
47) Booth und Hurst, Proc. Roy. Soc. London **161**, 248.
48) Walke, Phys. Rev. **52**, 669.
49) Szillard und Griffiths, Nature **139**, 323.
50) Hurst und Walke, Phys. Rev. **51**, 1033.
51) Walke, Phys. Rev. **52**, 663.
52) Walke, Phys. Rev. **51**, 439.
53) Walke, Phys. Rev. **51**, 1011.
54) Walke, Phys. Rev. **52**, 777.
55) Hayn, Physica **4**, 160.
56) Risser, Phys. Rev. **52**, 768.
57) Risser, Phys. Rev. **51**, 1013.
58) Hayn, Physica **4**, 1224.
59) Oeser und Tuck, Nature **139**, 1110.
60) Pool, Cork und Lawrence, Phys. Rev. **52**, 41.
61) Harteck, Knauer und Schaeffer, Naturwiss. **25**, 477.
62) Hayn, Nature **139**, 842.
63) Snell, Phys. Rev. **52**, 1087.
64) Alichanow, Alichanian und Dzelepow, Zeitschr. d. Sowjetunion **10**, 78.
65) Chao und Wang, Nature **140**, 768.
66) Steward, Lawson und Cork, Phys. Rev. **52**, 901.
67) Veldkamp und de Vries, Physica **4**, 1229.
68) Cork und Krauss, Phys. Rev. **52**, 763.
69) Reddemann und Straßmann, Naturwiss. **25**, 459.
70) Pool, Cork und Thornton, Phys. Rev. **52**, 308.
71) Pool, Cork und Thornton, Phys. Rev. **52**, 380.
72) Mitchell, Phys. Rev. **51**, 995.
73) Hoffman und Livingston, Phys. Rev. **52**, 1229.
74) Hoffman und Bethe, Phys. Rev. **51**, 1021.
75) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **52**, 135.
76) Frisch, Halban und Koch, Nature **140**, 895.
77) McMillan, Kanner und Ruben, Phys. Rev. **52**, 370.

1938

78) Nishina, Yasaki u. a., Nature **142**, 874.
79) Brickwedde, Dunning, Hoge und Mahley, Phys. Rev. **54**, 266.
80) Carroll, Powers, Dunning und Beyer, Phys. Rev. **53**, 680.
81) Bjerge und Broström, Medd. Danske Vid. Selskab. **16**.
82) Kurtschadow, Morosow u. a., Journ. exp. theoret. Phys. **8**, 885.
83) Aoki, Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **20**, 755.
84) Orthner und Protovinski, Anz. Akad. Wien, S. 99.
85) Kurie und Kamen, Phys. Rev. **53**, 212.
86) Thibaud und Comparat, C. R. **207**, 226.
87) Baschwitz, Journ. de phys. et le Radium **9**, 120.
88) Dimitrijew, Journ. exp. theoret. Phys. **8**, 779.
89) Nahmias und Schiff, Proc. Roy. Soc. London **161**, 248.
90) Wang, Zeitschr. f. Phys. **110**, 502.
91) Halban und Kowarski, Nature **142**, 392.
92) Govaerts, Nature **141**, 871.
93) Cichocki und Soltan, C. R. **207**, 423.
94) Guében, S. A. Bull. Soc. Roy. Liège, S. 187.
95) Cichocki und Soltan, Acta Phys. Polon. **7**, 240.
96) Ripper, Ber. d. Oberhess. Gesellsch. **8**, 72.
97) Grahame, Phys. Rev. **54**, 972.
98) Pool und Campbell, Phys. Rev. **53**, 272.
99) Cork und Thornton, Phys. Rev. **53**, 866.
00) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **54**, 391.
101) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **54**, 51.
102) Bacher und Swanson, Phys. Rev. **53**, 676.
103) Sagane, Kojima und Ikawa, Phys. Rev. **54**, 149.
104) Downing und Ellis, Nature **142**, 793.
105) Victorin, Proc. Cambr. Phil. Soc. **34**, 612.
106) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **53**, 765.
107) Reddemann, Naturwiss. **26**, 124.
108) Sagane, Phys. Rev. **53**, 212.
109) Curtis und Cork, Phys. Rev. **53**, 681.
110) Scheichenberger, Anz. Akad. Wien, S. 108.
111) Sagane, Phys. Rev. **54**, 542.
112) Sagane, Kojima, Miamoto und Ikawa, Phys. Rev. **54**, 970.
113) Segrè und Seaborg, Phys. Rev. **54**, 772.
114) Veldkamp und de Vries, Physica **4**, 249.

115) Pontecorvo, Nature **141**, 785.
116) Harteck, Knauer und Schaeffer, Zeitschrift f. Phys. **110**, 330.
117) Hudspeth und Bonner, Phys. Rev. **53**, 928.
118) Pool, Phys. Rev. **53**, 116.
119) Pontecorvo und Dode, C. R. **207**, 287.
120) Nakazawa und Sumoto, Proc. Imp. Acad. Tokyo **14**, 106.
121) Fleischmann, Zeitschr. f. Phys. **111**, 281.
122) Pool, Phys. Rev. **53**, 611.
123) Mitchell, Phys. Rev. **53**, 269.
124) Richardson und Curtis, Phys. Rev. **53**, 942.
125) Keller und Preiswerk, Helv. Phys. Acta **11**, 372.
126) Burhop, Hill und Townsend, Proc. Roy. Soc. London **165**, 116.
127) Tape und Cork, Phys. Rev. **53**, 676.
128) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **54**, 775.
129) Bacon, Grisewood und van der Merve, Phys. Rev. **54**, 315.
130) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **53**, 1015.
131) Pool und Quill, Phys. Rev. **53**, 437.
132) Oldenberg, Phys. Rev. **53**, 35.
133) Jäckel, Zeitschr. f. Phys. **110**, 330.
134) Meitner, Hahn und Straßmann, Zeitschr. f. Phys. **109**, 538.
135) Carroll und Dunning, Phys. Rev. **54**, 541.

1939

136) Salant, Roberts und Wang, Phys. Rev. **55**, 984.
137) Kikuchi und Aoki, Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **21**, 75.
138) Zinn, Seely und Cohen, Phys. Rev. **56**, 260.
139) Aoki, Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **21**, 232.
140) Kikuchi, Aoki und Watatuki, Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **21**, 410.
141) Goloborodko und Leipunski, Phys. Rev. **56**, 891.
142) Amaldi, Boccarelli, Rasetti und Trarbachi, Phys. Rev. **56**, 881.
143) Simons, Phys. Rev. **55**, 792.
144) Cohen und Goldsmith, Phys. Rev. **55**, 597.
145) Cohen, Goldsmith und Schwinger, Phys. Rev. **55**, 106.
146) Libby und Long, Phys. Rev. **55**, 339.
147) Alvarez und Pitzer, Phys. Rev. **55**, 596.
148) Staub und Stephens, Phys. Rev. **55**, 131.
149) Staub und Stephens, Phys. Rev. **55**, 235.
150) Maurer und Fisk, Zeitschr. f. Phys. **112**, 436.
151) Lawrence, Proc. Cambr. Phil. Soc. **35**, 304.
152) Nix und Dunning, Bull. Amer. Phys. Soc. **14**, 18.
153) Fermi und Rasetti, Ric. sci. Progr. **9** (II), 472.
154) McPhail und Giaratana, Phys. Rev. **56**, 207.
155) Kikuchi und Aoki, Phys. Rev. **55**, 1264.
156) Hanstein und Dunning, Bull. Amer. phys. Soc. **14**, 18.
157) Kimura, Sci. Pap. Inst. phys.-chem. Res. **36**, 153.
158) Racher, Phys. Rev. **55**, 679.
159) Baldinger und Huber, Nature **143**, 894.
160) Roberts und Wang, Phys. Rev. **55**, 596.
161) Thibaud und Comparat, Journ. de phys. et le Radium **10**, 282.
162) Thibaud und Comparat, Journ. de phys. et le Radium **10**, 161.
163) Whitaker und Beyer, Phys. Rev. **55**, 1101.
164) Kikuchi und Watatuki, Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **21**, 656.
165) Goldsmith, Cohen und Dunning, Phys. Rev. **55**, 1124.
166) Kimura, Proc. Imp. Acad. Tokyo **15**, 214. Vgl. aber Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **22**, 331, 1940, wo die Behauptung der Nichtadditivität der Wirkungsquerschnitte (*Hg*; *S*; *HgS*) zurückgezogen wird.
167) Whitaker und Beyer, Phys. Rev. **55**, 1124.
168) Magnan, C. R. **208**, 742.
169) Griffiths, Proc. Roy. Soc. London **170**, 513.
170) Salant, Horvath und Zagor, Phys. Rev. **55**, 111.
171) Nonaka, Nature **144**, 831.
172) Sagane, Phys. Rev. **55**, 31.
173) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 457.
174) Sagane, Kojima, Miamoto und Ikawa, Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **21**, 606.
175) Du Bridge und Marshall, Phys. Rev. **56**, 706.
176) Cacciapuoti, Phys. Rev. **55**, 110.
177) Manley, Goldsmith und Schwinger, Phys. Rev. **55**, 39.
178) Manley, Hornbostel und Goldsmith, Phys. Rev. **55**, 116.
179) Szilard, Phys. Rev. **55**, 47.
180) Nonaka, Proc. Phys.-Math. Soc. Japan **21**, 594.
181) Goldsmith und Schwinger, Phys. Rev. **55**, 107.
182) Hornbostel und Valente, Phys. Rev. **55**, 108.
183) Halban, Kowarski und Savitch, C. R. **208**, 1396.
184) Livingood, Seaborg und Kennedy, Phys. Rev. **55**, 794.
185) Livingood und Seaborg, Phys. Rev. **55**, 414.
186) Fajans und Stewart, Phys. Rev. **56**, 625.
187) Amaldi und Rasetti, Ric. sci. Progr. tecn. naz. **10**, 115.
188) Hevesy und Levy, Medd. Kopenhagen **15**.
189) Thibaud und Moussa, C. R. **208**, 744.
190) Whitaker, Barton, Bright und Murphy, Phys. Rev. **55**, 793.
191) Ladenburg, Kanner u. a., Phys. Rev. **56**, 168.
192) Grosse, Booth und Dunning, Phys. Rev. **56**, 382.
193) Goldstein, Rogozinski und Walen, Nature **144**, 201.
194) Reddemann und Bomke, Naturwiss. **27**, 518.
195) Booth, Dunning und Slack, Phys. Rev. **55**, 1124.
196) Bradt, Helv. Phys. Acta **12**, 553.
197) Hagiwara, Rev. Phys. Chem. Japan **13**, 145.
198) Zinn und Szilard, Phys. Rev. **56**, 619.
199) Anderson, Fermi und Hanstein, Phys. Rev. **55**, 797.
200) Anderson, Fermi, Dunning u. a., Phys. Rev. **55**, 511.
201) Rona, Scheichenberger u. a., Sitzungsber. Akad. Wien **147**, 209.

202) Roberts, Hafstad, Meyer und Wang, Phys. Rev. **55**, 664.
203) Roberts, Meyer und Hafstad, Phys. Rev. **55**, 416.
204) Roberts, Meyer und Wang, Phys. Rev. **55**, 510.
205) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 89.
206) Hahn, Ann. d. Phys. **36**, 368.
207) Langsdorf jr., Phys. Rev. **56**, 205.
208) Libby, Phys. Rev. **55**, 1269.
209) Joliot, Journ. de phys. et le Radium **10**, 159.
210) Joliot, C. R. **208**, 341.
211) Jentschke und Prankl, Naturwiss. **27**, 134.
212) Jentschke und Prankl, Anz. Akad. Wien, S. 60.
213) Frisch, Nature **143**, 852.
214) Fowler und Dodson, Phys. Rev. **55**, 417.
215) Feather, Nature **143**, 1027.
216) Fowler und Dodson, Phys. Rev. **55**, 880.
217) Curie und Savitch, C. R. **208**, 343.
218) Bohr, Phys. Rev. **55**, 418.
219) Bjerge, Broström und Koch, Nature **143**, 794.
220) Nishina, Yasaki u. a., Nature **144**, 547.
221) Meitner, Nature **143**, 637.
222) Flügge, Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 544.
223) Aten, Bakker und Heyn, Nature **143**, 679.
224) Bretscher und Cook, Nature **143**, 559.
225) Golowin, Fortschr. Chem. (russ.) **8**, 1293.
226) Aten, Bakker und Heyn, Nature **143**, 516.
227) Meitner und Frisch, Medd. Danske Vid. Selskab. **17**; Nr. 5.
228) Prankl, Verh. d. Dtsch. Physik. Ges. **20**, 146.
229) Tuve, Science **89**, 202.
230) Bohr und Wheeler, Bull. Amer. phys. Soc. **14**, 20.
231) Adler und Halban, Nature **143**, 793.
232) Beck und Havas, C. R. **208**, 1643.
233) Broström, Kock und Lauritsen, Nature **144**, 830.
234) Czulius und Schintelmeister, Anz. Akad. Wien, S. 27.
235) Chlopin, Paswik-Chlopin und Volkov, C. R. Moskau **24**, 665.
236) Chlopin, Passwick-Chlopin und Volkov, Nature **144**, 595.
237) Glasoe und Steigman, Phys. Rev. **55**, 1124.
238) Feather und Bretscher, Nature **143**, 516.
239) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 529.
240) Hahn und Straßmann, Abh. preuß. Akad. d. Wiss., Nr. 12, S. 3–20.
241) Halban, Joliot und Kowarski, Nature **143**, 680.
242) Halban, Joliot und Kowarski, Journ. de phys. et le Radium **10**, 428.
243) Haxel, Zeitschr. f. Phys. **112**, 681.
244) Bakker, Nederl. Tijdschr. Natuurkunde **6**, 333.
245) Abelson, Phys. Rev. **55**, 418.
246) Abelson, Phys. Rev. **55**, 876.
247) Abelson, Phys. Rev. **55**, 670.
248) Abelson, Phys. Rev. **56**, 1.
249) Anderson, Fermi und Szilard, Phys. Rev. **56**, 284.
250) Barschall, Harris, Kanner und Turner, Phys. Rev. **55**, 989.
251) Beck und Havas, C. R. **208**, 1084.
252) Turner, Thibaud, Moussa u. a., C. R. **208**, 652.
253) Bohr und Wheeler, Phys. Rev. **56**, 426.
254) Bohr, Nature **143**, 330.
255) Booth, Dunning und Glasoe, Phys. Rev. **55**, 982.
256) Booth, Dunning und Slack, Phys. Rev. **55**, 1273.
257) Corson und Thornton, Phys. Rev. **55**, 509.
258) Halban, Dode u. a., C. R. **208**, 995.
259) Thibaud und Comparat, C. R. **208**, 744.
260) v. Droste und Reddemann, Naturwiss. **27**, 371.
261) v. Droste, Naturwiss. **27**, 198.
262) Feather, Nature **143**, 597.
263) Feenberg, Phys. Rev. **55**, 980.
264) Flügge, Naturwiss. **27**, 402.
265) v. Droste und Flügge, Zeitschr. f. physik. Chem. (B) **42**, 274.
266) Savitch, C. R. **208**, 646.
267) Frenkel, Phys. Rev. **55**, 987.
268) Frisch, Nature **143**, 276.
269) Green und Alvarez, Phys. Rev. **55**, 417.
270) Lieber, Naturwiss. **27**, 421.
271) McMillan, Phys. Rev. **55**, 510.
272) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 451.
273) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **27**, 163.

1940

274) Cohen, Goldsmith und Hammermesh, Phys. Rev. **57**, 352.
275) Simons, Det kgl. Danske Vid. Selskab. (VII) **7**, 1–16.
276) Motz und Schwinger, Phys. Rev. **57**, 161.
277) Staub und Tatel, Phys. Rev. **57**, 936.
278) Boost und Harkins, Phys. Rev. **57**, 659.
279) Bacher, Phys. Rev. **57**, 352.
280) Levy, Nature **145**, 588.
281) Whitaker, Bright und Murphy, Phys. Rev. **57**, 551.
282) Walke, Phys. Rev. **57**, 163.
283) Walke, Phys. Rev. **57**, 177.
284) Walke, Thompson und Holt, Phys. Rev. **57**, 171.
285) Langsdorf jr. und Segrè, Phys. Rev. **57**, 105.
286) Bacher und Bakker, Phys. Rev. **57**, 351.
287) Huber und Sherrer, Helv. Phys. Acta **13**, 213.
288) Anderson, Phys. Rev. **57**, 566.
289) Booth, Dunning und Grosse, Phys. Rev. **57**, 546.
290) Meitner, Nature **145**, 422.
291) Turner, Phys. Rev. **57**, 334.
292) Beyer, Dunning und Nix, Phys. Rev. **57**, 566.
293) Glasoe und Steigman, Phys. Rev. **57**, 566.
294) Grosse und Booth, Phys. Rev. **57**, 664.
295) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **28**, 54.
296) Hahn und Straßmann, Naturwiss. **28**, 61.
297) Kanner und Barshall, Phys. Rev. **57**, 566.
298) Peierls, Proc. Cambr. Phil. Soc. **35**, Teil 4.
299) Segrè und Wu, Phys. Rev. **57**, 552.
300) Turner, Phys. Rev. **57**, 157.
301) Fertel, Gibbs, Moon u. a., Proc. Roy. Soc. London **175**, 316.
302) Lapointe und Rasetti, Phys. Rev. **58**, 554.
303) Bacher und Baker, Phys. Rev. **57**, 1076.
304) Hornbostel und Goldsmith, Phys. Rev. **58**, 18.
305) Simma und Yamasaki, Sci. Pap. Inst. phys.-chem. Res. Tokyo **37**, 10.
306) MacPhail, Phys. Rev. **57**, 669.
307) Huber, Huber und Scherrer, Helv. Phys. Acta **13**, 209.
308) Dubridge und Marshall, Phys. Rev. **58**, 7.
309) Seaborg, Livingood und Kennedy, Phys. Rev. **57**, 363.

310) Lawson und Cork, Phys. Rev. **57**, 982.
311) Ninakawa, Phys. Rev. **57**, 1189.
312) Beyer und Whitaker, Phys. Rev. **57**, 976.
313) Kimura, Proc. phys.-math. Soc. Japan **22**, 391.
314) Rasetti, Phys. Rev. **58**, 321.
315) Dunning und Hanstein, Phys. Rev. **57**, 565.
316) Bonner und Hudspeth, Phys. Rev. **57**, 1187.

Einige zusammenfassende Arbeiten über Neutronen

I) R. Fleischmann und W. Bothe, Künstliche Kerngammastrahlen, Neutronen, Positronen. Ergebn. d. exakten Naturwiss. XIII, 1–56, 1934.
II) R. Fleischmann und W. Bothe, Künstliche Kernumwandlung. Ergebn. d. exakten Naturwiss. XIV, 1–41, 1935.
III) R. Fleischmann und W. Bothe, Langsame Neutronen. Ergebn. d. exakten Naturwiss. XVI, 1–46, 1937.
IV) H. A. Bethe und M. S. Livingston, Nuclear Physics. Nuclear Dynamics. Experimental. The Rev. of Mod. Phys. **9**, 245 bis 390, 1937.
H. A. Bethe, Nuclear Physics, Nuclear Dynamics. Theoretical. The Rev. of Mod. Phys. **9**, 69–244, 1937.
V) E. Amaldi, Künstliche Radioaktivität durch Neutronen. Physik. Zeitschr. **38**, 692 bis 734, 1937.
VI) R. Fleischmann, Neuere Ergebnisse der experimentellen Kernforschung. Zeitschr. f. techn. Phys. **18**, 498–503, 1937.
VII) W. Bothe, Kernphysikalische Arbeiten aus dem Institut für Physik am KWI. für medizinische Forschung, Heidelberg. Physik. Zeitschr. **39**, 879–883, 1938.
VIII) H. Reddemann, Künstliche Atomumwandlung nach neuerer Forschung. Zeitschr. d. Ver. Dtsch. Ingen. **60**, 1033–1038, 1939.
IX) K. Diebner und E. Graßmann, Künstliche Radioaktivität. Experimentelle Ergebnisse. Hirzel, Leipzig 1939.
X) P. B. Moon, Langsame Neutronen. Rep. Progr. Phys. **4**, 198–211, 1939.
XI) F. A. Heijn, De wisselwerking tuschen neutronen en materie. I und II. Nederl. Tijdschr. voor Natuurkunde VI, 25–50, 1939; VII, 1940.
XII) R. Fleischmann, Atomkerne, Radioaktivität. Die Physik, Heft 1, 1–32, 1940.
XIII) L. A. Turner, Nuclear Fission. The Rev. of Mod. Phys., S. 1–30, 1940.

Berlin-Charlottenburg.

(Eingegangen 6. Juni 1942)

ABHANDLUNGEN

Bestimmung des spezifischen Gewichts und der Konzentration von schwerem Wasser

Von K. Wirtz

Inhaltsverzeichnis

1. Reinigung des Wassers.
2. Bestimmung des spezifischen Gewichts.
   a) Pyknometer.
   b) Füllung des Pyknometers.
   c) Thermostat.
   d) Wägung und Volumenbestimmung.
   e) Korrektur der gewogenen Gewichte auf das Vakuum.
3. Spezifisches Gewicht und D_2O-Konzentration.
   a) Spezifisches Gewicht und D_2O-Konzentration in Molprozent.
   b) Spezifisches Gewicht und D_2O-Gehalt in Gewichtsprozent.
   c) Temperaturkorrektur des pyknometrisch bestimmten spezifischen Gewichts von H_2O und D_2O.

Verschiedene Anfragen über das bei der Bestimmung des spezifischen Gewichts von schwerem Wasser (1) benutzte Verfahren geben Anlaß, es im folgenden kurz zu beschreiben, und gleichzeitig den Zusammenhang zwischen dem spezifischen Gewicht und der D-Konzentration des Wassers noch einmal zu erläutern. Hierbei wird speziell die Bestimmung der Konzentration in extremen Konzentrationsbereichen, d. h. in der Nähe von 100prozentigem H_2O und 100prozentigem D_2O, berücksichtigt, die bekanntlich besondere Aufmerksamkeit erfordert. Die beschriebene Pyknometeranordnung kann natürlich auch zur Bestimmung des spezifischen Gewichts anderer Flüssigkeiten benutzt werden.

1. Reinigung des Wassers

Vor einer genauen Messung, die die 5. oder gar 6. Stelle des spezifischen Gewichts hinter dem Komma liefern soll, muß auch eine an sich reine Wasserprobe einer sorgfältigen Destillation unterzogen werden. Die Destillationsapparatur muß bei hochprozentigem schwerem Wasser einschließlich aller verwendeten Gefäße zuerst „schwer" gemacht werden, d. h. es darf kein leichtes Wasser mehr an ihren Wänden adsorbiert sein. Hierzu wird am besten mit einigen ccm D_2O vorgespült. In einer nicht vorgespülten, gut getrockneten Apparatur nahmen 25 ccm D_2O bei einmaligem Destillieren trotz Verwerfens des Vorlaufs 0,4 Molproz. leichtes Wasser auf. Auch das Pyknometer muß vorgespült werden.

Die Reinigung des Wassers selbst erfordert große Sorgfalt. Zur Entfernung gelöster organischer Substanzen gibt man ein Körnchen kristallisiertes Permanganat p. A. zu und destilliert

ab. Nötigenfalls wiederholt man dasselbe unter Zugabe von einem Tropfen konzentrierter Schwefelsäure an Stelle des Permanganats. (In D_2O wird hierdurch leichter Wasserstoff eingeschleppt!) Dann wird 2–3mal unter Verwerfen von Vor- und Nachläufen bis zur Gewichtskonstanz destilliert. Auf Luftfreiheit der Proben braucht nicht geachtet zu werden (2).

Die Destillationsapparatur kann aus Jenaer Glas hergestellt sein. Es löst sich zwar stets etwas in dem Wasser, doch stört dies nicht, da die zu untersuchende Probe ja stets auf ebenso behandeltes normales Wasser bezogen werden muß. Ist man jedoch gezwungen, eine frisch destillierte Probe zwischen Destillation und Wägung im Glasgefäß stehenzulassen, so stellt man das Ansteigen des spezifischen Gewichts infolge des sich lösenden Glases nach einigen Tagen ohne Schwierigkeiten fest. In solchen Fällen sind Quarzgefäße vorzuziehen.

2. Bestimmung des spezifischen Gewichts

a) Pyknometer

Für genaue Bestimmungen verwenden wir ein Quarzpyknometer der in Fig. 1 angegebenen Form. Ein kleiner Kolben läuft in eine feine dickwandige Kapillare von etwa 0,1 mm lichter

Fig. 1. Quarzpyknometer.

Weite aus. Sie endet in einem Schliff, durch den das Pyknometer an die Füllvorrichtung (Fig. 2) angeschlossen wird. Wird auf einer normalen Waage gewogen und steht genügend Substanz zur Verfügung, so ist das Volumen zweckmäßig etwa 20 ccm. Soll auf der Mikrowaage gewogen werden, so dürfen 20 g Gesamtgewicht nicht überschritten werden. Das Volumen beträgt dann 9–10 ccm. Bei kleineren Substanzmengen haben wir diesen Pyknometertyp bis zu 0,1 ccm Inhalt verwendet.

b) Füllung des Pyknometers

Zur Füllung wird das Wasser in das Füllgefäß (Fig. 2) gefüllt, so daß es über dem Pyknometer steht. Dann wird die Luft aus dem Pyknometer durch das Wasser hindurch herausgepumpt. Läßt man wieder Luft zutreten, so wird das Wasser in das Pyknometer gepreßt. Kleine übrigbleibende Luftblasen werden durch

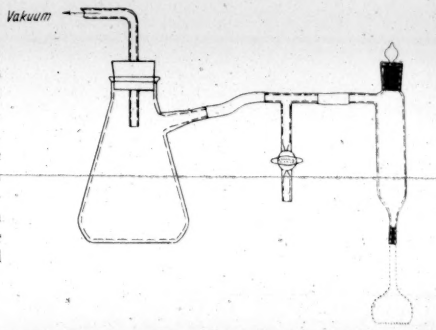

Fig. 2. Füllvorrichtung für das Quarzpyknometer.

Erwärmen der Füllflüssigkeit herausgedrückt. Die Entleerung des Pyknometers erfolgt ebenfalls durch Erhitzen des Pyknometers, z. B. in der leuchtenden Flamme des Bunsenbrenners. Eine Veränderung des Pyknometervolumens hierdurch wurde nie beobachtet.

c) Thermostat

Das gefüllte Pyknometer kommt in den Wasserthermostaten, dessen Temperatur über der Fülltemperatur liegen muß, damit zu viel eingefüllte Flüssigkeit herausgedrückt wird. Dadurch bildet sich oben auf der aus dem Thermostatenwasser herausragenden Kapillaren eine Wasserkuppe, die unmittelbar vor dem Herausnehmen aus dem Thermostaten abgewischt wird. Damit dies reproduzierbar möglich ist, muß die Kapillare am Ende sauber abgeschliffen sein. Das Pyknometer bleibt 30 Minuten im Thermostaten. Die Temperatur des Thermostaten soll auf etwa $^1/_{100}°$ konstant sein. Eine Schwankung der Temperatur um $^1/_{100}°$ ändert das spezifische Gewicht des schweren Wassers zwischen 20° und 30° C um etwa $3 \cdot 10^{-6}$ (vgl. Abschnitt 3d). Die Thermostatentemperatur wird mit Rücksicht auf die Außentemperatur meist 25° oder 30° C betragen. Da in der Literatur oft das spezifische Gewicht bei 20° C angegeben ist, wird im folgenden auch diese Temperatur berücksichtigt. Nach der Herausnahme aus dem Thermostaten wird das Pyknometer etwas abgekühlt, wodurch sich die in der Kapillaren stehende Flüssigkeitssäule von der Mündung

zurückzieht. Nun kann, ohne daß die Kapillaröffnung verschlossen zu werden braucht, gewogen werden. Ein Substanzverlust infolge von Verdunsten durch die Kapillare ist nie beobachtet worden.

d) Wägung und Volumenbestimmung

Das spezifische Gewicht s einer Probe wird am besten stets auf Wasser normaler Isotopenzusammensetzung bei Thermostatentemperatur bezogen, bezeichnet z. B. durch s_{25}^{25}. Bei genauen Bestimmungen müssen stets Normalwasser und Probe kurz hintereinander gewogen werden. Die Wägung geschieht bei Proben ≤ 10 ccm auf $^1/_{100}$ mg genau. Mit einiger Übung kann mit dem Pyknometer mit sehr enger Kapillaren eine Konstanz auf einige Tausendstel mg erzielt werden. Zur Kompensation der Schwankungen des Luftdrucks dient stets ein Taragewicht aus Glas, das die äußere Form des Pyknometers hat. Es ist mit Wasser gefüllt und abgeschmolzen und hat nahezu das gleiche Gewicht wie das Pyknometer. Sein Gewicht wird einmal mit gewöhnlichen Gewichten bei beliebigem Luftdruck bestimmt. Alle künftigen Wägungen des Pyknometers, bei denen das Taragewicht benutzt wird, werden dann gewissermaßen auf diesen Luftdruck korrigiert, da alle Schwankungen des Luftdrucks dieselbe Auftriebsänderung bei Pyknometer und Tarageföß hervorrufen. Die kleinen Gewichtsdifferenzen bei den einzelnen Messungen werden durch Anlegen von normalen Gewichten ausgeglichen[1]).

e) Korrektur der gewogenen Gewichte auf das Vakuum

ist bei hochprozentigem schwerem Wasser notwendig. Bei Vernachlässigung dieser Korrektur würde ein um etwa 0,1 Molproz. zu hoher D_2O-Gehalt (z. B. 99,8 an Stelle von 99,7 Molproz.) gemessen.

3. Spezifisches Gewicht und D_2O-Konzentration

a) Spezifisches Gewicht und D_2O-Konzentration in Molprozent

Das Ergebnis der Pyknometermessung ist das spezifische Gewicht der Probe bei der Temperatur T bezogen auf normales Wasser derselben Temperatur, meist bezeichnet mit s_T^T [vgl. (1)], im folgenden einfach mit s. Es sei nun s_H das spezifische Gewicht von reinem H_2O, frei von Deuterium, und s_D das spezifische Gewicht von D_2O, frei von H_2O. Dann ist offenbar das spezifische Gewicht s_m einer Mischung von H_2O und D_2O, unter der Voraussetzung, daß die Volumina additiv sind:

$$s_m = \alpha_H \cdot s_H + \alpha_D \cdot s_D , \qquad (1)$$

wo

$$\left.\begin{aligned} \alpha_H &= \frac{[H_2O]}{[H_2O] + [D_2O]} ; \\ \alpha_D &= \frac{[D_2O]}{[H_2O] + [D_2O]} ; \\ (\alpha_H &+ \alpha_D = 1) \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

die Molenbrüche von H_2O bzw. D_2O sind. Luten (3) hat empirisch festgestellt, daß man für $\alpha_D > {}^1/_{1000}$ noch ein gemischtes Glied, das die Nichtlinearität des Molvolumens berücksichtigt, in Gleichung (1) hineinnehmen muß. Bei Temperaturen zwischen 20 und 30° C hat es die Größe $-0{,}0012\,\alpha_H \cdot \alpha_D$.

Schreibt man außerdem

$$s_D = s_H + \varepsilon , \qquad (3)$$

so folgt aus Gleichung (1) und (2) für das spezifische Gewicht einer Mischung von H_2O und D_2O:

$$s_m = s_H + \alpha_D \cdot \varepsilon - 0{,}0012 \cdot \alpha_D (1 - \alpha_D) . \qquad (4)$$

Für die natürliche Häufigkeit des D_2O im Wasser haben Tronstad und Brun (2) 1 Mol D_2O in 5960 Mol H_2O gefunden. Wir setzen der Einfachheit halber $\alpha_D = {}^1/_{6000}$.

Über die spezifischen Gewichte von 100prozentigem D_2O bei verschiedenen Temperaturen wurde kürzlich berichtet (1). Man hat hier zu unterscheiden zwischen D_2O normaler Sauerstoffisotopenzusammensetzung und solchem, bei dem durch den Anreicherungsprozeß, z. B. der Elektrolyse des Deuteriums, auch die schweren Sauerstoffisotopen mit angereichert wurden. Bei käuflichem D_2O ist meist letzteres der Fall. Wir geben die spezifischen Gewichte der Vollständigkeit halber in Tabelle I noch einmal an. Obwohl diese absoluten Werte des spezifischen Gewichts nur auf 5 Stellen hinter dem Komma bekannt sind, ist es doch mittels der im 1. Abschnitt angegebenen Anordnung möglich, Wasserproben, die um Einheiten der 6. Stelle im spezifischen Gewicht verschieden sind, zu unterscheiden. Dies kann z. B. bei der Verfolgung von Anreicherungsprozessen in sehr verdünnten Mischungen wichtig sein. Es wird deshalb im folgenden so getan, als ob die 6. Stelle des Absolutwertes bekannt sei, und z. B. an Stelle

[1]) Quarzpyknometer in allen Größen mit passendem Tarageföß und Füllvorrichtung werden von der Firma W. Kauhausen, Laborbedarf, Berlin-Dahlem, Ihnestr. 29, hergestellt. Der Glasbläsermeister des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Physik, Herr Huber, hat die ersten Exemplare mit großer Sorgfalt angefertigt.

Tabelle I

Spezifisches Gewicht von 100prozentigem D_2O bei verschiedenen Temperaturen bezogen auf normales Wasser derselben Temperatur

Temperatur in ° C	20	25	30	35	40	50
D_2O mit normalem Sauerstoffgehalt	1,10726	1,10765	1,10793	1,10821	1,10847	1,10880
D_2O mit angereicherten schweren Sauerstoffisotopen	1,10737	1,10776	1,10804	1,10832	1,10858	1,10891

Tabelle II

Molenbruch α_D des schweren Wassers in Prozenten und spezifisches Gewicht bei der Temperatur T, bezogen auf das gleiche Volumen von normalem Wasser bei derselben Temperatur, bestimmt nach Gleichung (4)

α_D in Prozenten	$T = 20°$ C		$T = 25°$ C		$T = 30°$ C	
	Normaler O-Gehalt	Schwere O-Isotope angereichert	Normaler O-Gehalt	Schwere O-Isotope angereichert	Normaler O-Gehalt	Schwere O-Isotope angereichert
0,1	1,000088	1,000088	1,000089	1,000089	1,000089	1,000089
1	1,001043	1,001044	1,001047	1,001048	1,001049	1,001051
10	1,010602	1,010613	1,010641	1,010652	1,010669	1,010680
50	1,053321	1,053376	1,053516	1,053571	1,053656	1,053711
90	1,096424	1,096523	1,096775	1,096874	1,097027	1,097126
99	1,106175	1,106284	1,106561	1,106670	1,106839	1,106947
99,9	1,107152	1,107262	1,107541	1,107651	1,107821	1,107931
100	1,107260	1,107370	1,107650	1,107760	1,107930	1,108040

des in Tabelle I angegebenen Wertes 1,10737 das spezifische Gewicht bei 20° geschrieben $s = 1{,}107370$.

Da in Gleichung (4) für $\alpha_D = 1/_{8000}$ der Wert $s_m = 1$ und für $\alpha_D = 1$ der Wert s_m einer der Werte aus Tabelle I sein soll, folgt für das spezifische Gewicht s_H zwischen 20 und 30° C:

$$s_H = 0{,}999982\,. \tag{5}$$

Hiermit und mittels Gleichung (3) und (4) kann nun das spezifische Gewicht irgendeiner Mischung von leichtem und schwerem Wasser bestimmt werden. Die Tabelle II enthält eine numerische Auswertung von Gleichung (4) für verschiedene aus Tabelle I entnommene Werte von s_D. Die Werte des Molenbruchs α_D und des spezifischen Gewichts können linear, am besten graphisch interpoliert werden. Dies ist für hohe D_2O-Konzentrationen in Fig. 3 geschehen.

b) Spezifisches Gewicht und D_2O-Gehalt in Gewichtsprozent

Es sei

$$\beta_D = \frac{\alpha_D \cdot s_D}{\alpha_H \cdot s_H + \alpha_D \cdot s_D} \tag{6}$$

der Gewichtsanteil des schweren Wassers in einer Mischung von H_2O und D_2O. Dann ist:

$$\alpha_D = \frac{\beta_D \cdot s_H}{s_D - \beta_D (s_D - s_H)}\,. \tag{7}$$

Ersetzt man in Gleichung (4) den Wert von α_D durch diesen Ausdruck, so erhält man eine Beziehung zwischen dem Gewichtsanteil β_D von D_2O und dem spezifischen Gewicht. Die Tabelle III enthält eine Auswertung, allerdings ohne Berücksichtigung des gemischten Gliedes

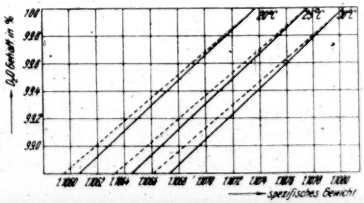

Fig. 3. Zusammenhang zwischen spezifischem Gewicht von D_2O mit angereicherten schweren O-Isotopen, bezogen auf normales Wasser derselben Temperatur, und Prozentgehalt zwischen 99 und 100 Proz. D_2O bei den Temperaturen 20, 25 und 30° C. (Ausgezogen = Molprozente; gestrichelt = Gewichtsprozente.)

der Gleichung (4) und nur für D_2O mit bei der Herstellung angereicherten schweren O-Isotopen. Diese Tabelle dürfte nützlich sein z. B. bei der Kontrolle der Konzentration von käuflichem D_2O, die meist in Gewichtsprozenten angegeben wird. Für D_2O hoher Konzentration ist eine graphische Interpolation in Fig. 3 angegeben.

Tabelle III

Gewichtsprozente, $\beta_D \cdot 100$, des schweren Wassers mit bei der Herstellung angereicherten O-Isotopen und spezifisches Gewicht bei der Temperatur T bezogen auf das gleiche Volumen von normalem Wasser bei derselben Temperatur

$\beta_D \cdot 100$	$T = 20°$ C	$T = 25°$ C	$T = 30°$ C
1	1,00095	1,00096	1,00096
10	1,00977	1,00981	1,00983
50	1,05094	1,05112	1,05124
90	1,09560	1,09595	1,09620
95	1,10146	1,10182	1,10209
99	1,10618	1,10657	1,10684
99,5	1,10678	1,10716	1,10744
99,8	1,10713	1,10752	1,10780
100	1,10737	1,10776	1,10804

c) Temperaturkorrektur des pyknometrisch bestimmten spezifischen Gewichts von H_2O und D_2O

Ändert sich zwischen der Wägung des normalen Wassers und der der unbekannten Probe die Temperatur des Thermostaten um $\pm \Delta T°$, so kann man dies dadurch berücksichtigen, daß das aus den beiden Wägungen sich ergebende spezifische Gewicht um einen Betrag $\pm \Delta s$ erhöht (erniedrigt) wird, der unabhängig vom Pyknometervolumen ist*).

$$s_t' = s_t'^{+\Delta T} + \Delta s_T \cdot \qquad (8)$$

*) Eine Korrektur, die die Volumenänderung des Quarzpyknometers berücksichtigt, würde rund 100mal kleiner sein.

Mit genügender Genauigkeit ist für $\Delta T = 1°$ für 100prozentiges D_2O:

$$\Delta s_T = 1{,}107 \cdot \delta_t'' \qquad (9)$$

mit

$$\delta_t'' = 1 - \frac{V_T}{V_{T+1}},$$

wo V_T, V_{T+1} die Molvolumina bzw. reziproken auf Wasser von 4° C bezogenen spezifischen Gewichte (1) bei T und $T + 1°$ C sind. Für leichtes Wasser ist:

$$\Delta s_T = \delta_t'', \qquad (10)$$

wo δ_t'' die entsprechende Bedeutung hat. Eine Auswertung von Gleichung (9) und (10) enthält Tabelle IV.

Tabelle IV

Temperaturkorrektur des pyknometrisch bestimmten spezifischen Gewichts von H_2O und D_2O.

Ist die Temperatur bei der Wägung des schweren Wassers um $\Delta T°$ höher (niedriger) als bei der Wägung des normalen Wassers, so muß das spezifische Gewicht um Δs erhöht (erniedrigt) werden. Ist $\Delta T = 1°$, so ist Δs:

	Δs bei 20°C	Δs bei 25°C	Δs bei 30°C
H_2O	0,000210	0,000260	0,000297
D_2O	0,000177	0,000249	0,000320

Literaturverzeichnis

1) K. Wirtz, Naturwiss. **30**, 329, 1942.
2) L. Tronstad und J. Brun, Trans. Far. Soc. **34**, 766, 1938.
3) D. B. Luten, Phys. Rev. **45**, 161, 1934.

Berlin-Dahlem, den 6. Juli 1942. Kaiser-Wilhelm-Institut für Physik.

(Eingegangen 20. Juli 1942)

BESPRECHUNGEN

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten **Bücher** sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

L. Bergmann und H. Lassen, Ausstrahlung, Ausbreitung und Aufnahme elektromagnetischer Wellen. (2. Band des Lehrbuches der drahtlosen Nachrichtentechnik, herausgegeben von N. v. Korshenewski und W. T. Runge.) 284 S. Mit 285 Abbildungen. Berlin 1940. Verlag J. Springer. Preis brosch. RM. 24,—, geb. RM. 25,80.

In dem vorliegenden zweiten Band des Lehrbuches der drahtlosen Nachrichtentechnik wird die Ausstrahlung und Aufnahme elektrischer Wellen (141 Seiten mit 175 Abbildungen) von L. Bergmann, die Wellenausbreitung (139 Seiten mit 110 Abbildungen) von H. Lassen behandelt.

Nach kurzer Darlegung der bei den Antennen maßgebenden Grundbegriffe geht Bergmann zunächst auf die Sendeantennen ein (Antennen mit rotationssymmetrischer Strahlung, Antennen für gerichtete Strahlung, Antennen mit Richtstrahlung für besondere Zwecke) und bespricht dann die Antennen für ungerichteten Empfang, für gerichteten Empfang und für Peilzwecke.

Lassen hat den umfangreichen Stoff in zwei Abschnitte „Theorie der Wellenausbreitung" und „Beobachtungen und Ergebnisse" aufgeteilt. Der erste behandelt die Ausbreitung im homogenen Körper, die Zenneckschen Oberflächenwelle, die Ausbreitung über die ebene Erde und die Erdkugel, die Brechung in der unteren Atmosphäre, die Ionosphäre mit ihrem Einfluß auf die Wellenausbreitung

und die dabei angewandten Forschungsmethoden; im zweiten wird die Wellenausbreitung getrennt für die verschiedenen Wellenbereiche besprochen und abschließend eine Übersicht über die Ergebnisse der Ionosphärenforschung gebracht.

Nach dem Vorwort der Herausgeber ist das Lehrbuch „in erster Linie für den Kreis der Fachingenieure und Physiker bestimmt, die tiefer in das Wesen der Hochfrequenzphysik und ihrer technischen Anwendungen, soweit sie den Aufgaben der technischen Nachrichtenübermittlung dienen, eindringen wollen". Die Darstellung im vorliegenden Band zeichnet sich durch Klarheit aus und vermittelt in guter Auswahl einen umfassenden Überblick über das Gebiet, so daß sie der gestellten Anforderung durchaus gerecht wird. Das im übrigen gut ausgestattete und mit vielen zweckmäßig gewählten Abbildungen versehene Buch wird sicherlich einen entsprechend großen Freundeskreis finden. E. Fischer

Blätter für Geschichte der Technik. Herausgegeben vom Forschungsinstitut für Technikgeschichte in Wien. 8. Heft. Schriftleitung: L. Erhard † und K. Holey. Gr.-8°, IV und 90 S. Mit 55 Abbildungen. Wien 1942. In Kommission: Springer-Verlag. Geh. RM 4,—.

Die letzten zehn Jahre haben uns den Verlust dreier führender Männer (um nicht zu sagen „der drei führenden Männer") auf dem Forschungsgebiet „Geschichte der Technik" gebracht: 1934 Oskar v. Miller, 1940 Ludwig Erhard und 1942 Conrad Matschoß. Millers Tätigkeit galt der Organisation in der Begründung des Deutschen Museums, Matschoß' der Literatur in eigener Schöpfung und Organisation, Erhard ist der Schöpfer des Technischen Museums in Wien und war Begründer und Leiter des ersten Forschungsinstituts für Geschichte der Technik in Wien. Als Sprachrohr dieses Instituts schuf er die „Blätter für Technikgeschichte", die an dieser Stelle mehrfach besprochen wurden und deren vorliegendes achtes Heft als letztes von Erhard selbst mit verfaßt wurde.

Zunächst schildert K. Holey den arbeitsreichen Lebensweg von Erhard (geboren 25. August 1863, gestorben 28. Oktober 1940), dessen Grundeinstellung zur Maschinenarbeit am besten durch ein eigenes Wort von ihm gegeben wird. Er sieht ihre soziale Bedeutung darin, „daß sie der Vergeudung der edelsten und wertvollsten Kraft, der menschlichen Energie, entgegenwirkt". Es folgt die letzte Arbeit aus der Hand Erhards, die er wenige Stunden vor seinem Tode beendete: „Zur Begriffsbestimmung der Volkstechnik." Hier stellt er die Volkstechnik dem Volkslied und der Volkskunst an die Seite und schildert z. B. die in den deutschen Alpenländern seit alters her gebräuchlichen Wassertrommelgebläse als die Vorläufer aller Strahlapparate. Nach Geschichtlichem über die Linz-Budweiser Pferdebahn, die älteste deutsche Schienenstrecke, von K. Feiler folgt aus dem Nachlaß von Oswald Dirmoser, dessen Name mit den Skodawerken verwachsen ist, ein Aufsatz „Bahnbrecher auf dem Gebiet des Geschützwesens", der die großen Linien der Entwicklung besonders schön erkennen läßt; anschließend ein Nachwort über die Brüder Dirmoser von Reutter v. Vallone. Ein Tätigkeitsbericht des Forschungsinstituts für Technikgeschichte über 1938–40 und ein Merkblatt zur Anlegung von Betriebsarchiven beschließen das achte Heft der Blätter für Technikgeschichte, dem man den Wunsch mitgeben darf, daß es auch nach dem Tode des Begründers der Blätter gleich interessante Fortsetzungen finden möge. L. Schiller

Heinrich Dörrie, Vektoren. Gr.-8°. VIII und 300 S. Mit 69 Figuren. München und Berlin 1941. R. Oldenbourg. Geb. RM 13,50.

Im ersten Abschnitt dieses Lehrbuchs wird eine ausgesprochen geometrisch gefaßte Einführung in die Grundlagen der Vektorrechnung dargeboten, an die sich als zweiter, erheblich umfangreicherer Teil eine Auswahl geometrischer und physikalischer Anwendungen anschließt; die letzteren beziehen sich im wesentlichen auf die Dynamik starrer Systeme und auf die Elektrodynamik. Die gut lesbare, in ihrem Aufbau gelegentlich — aus übrigens nicht ganz durchsichtigen Gründen — vom Gewohnten abweichende Darstellung wird sicherlich vielen Physikern sehr willkommen und nützlich sein.

Harry Schmidt

Chr. Gerthsen und M. Pollermann, Einführung in das Physikalische Praktikum für Studierende der Medizin und anderer Fächer. 8°. VI und 98 S. Mit 125 Abbildungen. Berlin 1941. Springer-Verlag. Ungeb. RM. 3,30.

Das Buch hat den Vorzug, im wesentlichen auf die Bedürfnisse einer einzigen Gattung von Studierenden, nämlich der Mediziner, zugeschnitten zu sein. Von diesen wird zweckmäßigerweise nicht dieselbe Ausführlichkeit und Strenge in der Behandlung der einzelnen Aufgabe verlangt wie vom Physikstudenten. Dafür aber wird durch eine besondere Organisation der Praktikumsleitung (siehe Vorwort) erreicht, daß jeder Student an die Durchführung fast aller beschriebenen Aufgaben herangebracht wird. Jeder Aufgabe ist eine kurze Erläuterung der ihr zugrundeliegenden physikalischen Begriffe und Gesetze vorangestellt. Auch das ist sehr nützlich, ebenso die Durchschießung des Buches mit unbedruckten Blättern.

Erwähnen möchte ich noch, daß man beim spezifischen Gewicht vielleicht doch die Fallbeschleunigung mit hereinbringen sollte — auch wegen ihrer Bedeutung für die Luftfahrtmedizin — und daß die „Beugungsscheibchen" beim Mikroskop eine durch die Linse erzeugte Regenbogenerscheinung sind. Jedenfalls kann man das Buch für Mediziner sehr empfehlen. W. Möbius

C. Schaefer, L. Bergmann, W. Kliefoth, Grundaufgaben des Physikalischen Praktikums. Gr.-8°. VI und 218 S. Mit 182 Abbildungen. Leipzig und Berlin 1942. B. G. Teubner. Geb. RM 5,60.

Das Buch will für die Anfänger unter allen Physik treibenden Studierenden die Hauptaufgaben des physikalischen Praktikums aus allen Gebieten der Physik behandeln. Für sie alle sind nach Ansicht der Verfasser „gediegene Kenntnisse der praktischen Physik unentbehrlich". Beim Mediziner usw. sollte man wohl in Anbetracht der geringen verfügbaren Zeit die Forderung gediegener

Kenntnisse auf die berufswichtigen Aufgaben beschränken, bei diesen aber auch gewissenhaft und unerbittlich erheben. Wegen der bedauerlichen Tatsache, daß alle diese Anfänger mit sehr geringen Physikkenntnissen ins Praktikum kommen, enthält das Buch auch „Einführungen in die physikalischen Grundlagen" der Aufgaben. So kurz solche „Einführungen" naturgemäß sein müssen, sind sie doch bei den geschilderten Verhältnissen für die meisten Studierenden durchaus angebracht. Die meisten Aufgaben bringen in einem Abschnitt A die theoretischen Zusammenhänge, unter B Anordnung und Verlauf des Versuches und am Schluß unter „Gang der Messung" seine Durchführung.

Die Aufgaben scheinen so ausgewählt zu sein, daß der Physikstudent nach ihrer Erledigung Aufgaben aus der neueren Physik nach dem Kohlrausch bearbeiten soll. Der Mediziner usw. aber ist nicht Anfänger in demselben Sinne. Er benutzt nicht den Kohlrausch, er kommt also auch an diese neueren Dinge gar nicht heran mit Ausnahme der Elektronenröhren. Dringend erwünscht aber wäre für ihn, um nur ein Gebiet zu nennen, eine ausführliche Behandlung der Röntgenstrahlen, die zu einem vollen Verständnis ihrer Erzeugung und der physikalischen Grundlagen ihrer Bedeutung für den menschlichen Körper führen würde. Die Koppelung der Mediziner usw. mit Physikern und Chemikern in Praktikum wie Vorlesung ist eben ein Unding. Ihre Beseitigung müßte endlich einmal von allen beteiligten Stellen energisch in Angriff genommen werden. W. Möbius

G. Joos und Th. Kaluza, Höhere Mathematik für den Praktiker. Zweite verbesserte Auflage. Gr.-8°. XII und 368 S. Mit 85 Figuren. Leipzig 1940. Johann Ambrosius Barth. Brosch. RM 23,—; geb. RM 24,50.

Die Verfasser stehen auf dem Standpunkt, daß man diejenigen, die die Mathematik als Hilfswissenschaft benötigen, mit „der ganzen Problematik der Grenzwertbildung" verschonen soll – eine Forderung, die meines Erachtens einen glatten Verzicht auf ein wirkliches Verständnis der die mathematische Struktur von Physik und Technik bedingenden Zusammenhänge bedeutet. Gewiß braucht ein vorwiegend praktisch interessierter Physiker oder Ingenieur weder Existenz- und Einzigkeitsbeweise führen noch Voraussetzungen irgendwelcher Aussagen durch eigene Bemühungen mildern oder gar neue Sätze selbst entdecken zu können — über die grundsätzliche Bedeutung derartiger Fragen für seine Belange aber dürfte er im Verlauf seiner Ausbildung auf keinen Fall im unklaren gehalten werden. Hier hätte gerade die Zusammenarbeit eines Mathematikers mit einem Physiker einem dringenden Zeitbedürfnis nachhaltig Rechnung tragen können; statt dessen ziehen die Verfasser es vor, anläßlich der Existenz nirgends differenzierbarer stetiger Funktionen von „krankhaften Fällen, mit denen sich der reine Mathematiker mit Vorliebe abgibt" zu sprechen!

In stofflicher Hinsicht bietet das Buch erstaunlich viel; die Darstellung mußte demgemäß in der Regel recht knapp gehalten werden. Auch aus diesem Grunde bezweifle ich, daß den Lesern aus der Lektüre ein wirklicher Gewinn zu erwachsen vermag. Harry Schmidt

Günther Oberdorfer, Lehrbuch der Elektrotechnik.

I. Band: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrotechnik. Gr.-8°, 460 S. Mit 272 Abbildungen. In Leinen RM 19,50.

II. Band: Rechenverfahren und allgemeine Theorien der Elektrotechnik. 377 S. Mit 123 Abbildungen. In Leinen RM 18,50.

München und Berlin 1941. Verlag von R. Oldenbourg.

Die Beherrschung der Grundlagen der theoretischen Elektrotechnik ist für Physiker und Elektrotechniker von gleicher Wichtigkeit. Die historische Entwicklung der elektromagnetischen und elektrostatischen Erscheinungen ließen eine verwirrende Fülle von Definitionen und Maßsystemen entstehen, deren genaue Unterscheidung manchmal Schwierigkeiten bereitet. Oberdorfer kommt durch Wahl der Dimensionen Länge, Zeit, Masse und Ladung zu übersichtlichen Festlegungen, wobei Dielektrizitätskonstante ε und Permeabilität μ nicht mehr dimensionslos sind. Während in dem bekannten Lehrbuch von Küpfmüller das gleiche Maßsystem konsequent und unabhängig entwickelt wird, weist Oberdorfer überall auf Zusammenhänge mit dem elektrostatischen und elektromagnetischen Maßsystem hin. Diese Aufgabe ist nicht ganz leicht und wäre vielleicht besser in einem einzelnen zusammenfassenden Kapitel, ergänzt durch Zahlenbeispiele, erfolgt. Da sich das Werk von Oberdorfer vor allem an den Elektroingenieur wendet, sind die mathematischen Voraussetzungen und die Schwierigkeiten der Darstellung geringer als in dem Lehrbuch von Abraham Becker. Oberdorfer weist in vielen Punkten auf technische Zusammenhänge und technische Anwendungen hin. Das geschieht besonders in den Abschnitten: Raumladungsfelder, räumliche Strömungsfelder; Kompensationsmeßverfahren, Meßbrücken, Elektrizitätsleitung in Gasen, Wechselstromtechnik, Wechsel- und Drehstromfelder. Darüber hinaus ist natürlich der Theorie des elektrischen Feldes, der Elektronen- und Ionenströme und des elektromagnetischen Feldes ein breiter Raum gewidmet.

Im zweiten Band bringt der Verfasser die für den Elektrotechniker wichtigen mathematischen Grundlagen. Es ist ein grundsätzlich neuer und begrüßenswerter Gedanke, eine angewandte Mathematik des Elektrotechnikers zu schreiben. Den Physiker interessieren hier besonders die mit der speziellen Elektrotechnik in Zusammenhang stehenden Rechenverfahren: Funktionsleiter, Fluchtlinientafeln, die komplexe Rechnung der Wechselstromtechnik, Heavisidesche Operatorenrechnung, Laplace-Transformationen, die Zwei- und Vierpoltheorie sowie die Theorie der Kettenleiter. Die einzelnen Abschnitte zeichnen sich durch Kürze und Verständlichkeit aus, sie sind für den Praktiker geschrieben und auch für schnelle Unterrichtung geeignet. Die Abschnitte Infinitesimalrechnung, Differentialgleichungen, Funktionentheorie werden für die Bedürfnisse des Physikers im allgemeinen nicht ausreichen und können dann auch nicht die bekannten ausführlichen Lehrbücher ersetzen.

Tabellen und Formelzusammenstellung am Ende des ersten Bandes sowie graphische Darstellung

wichtiger Funktionen am Ende des zweiten Teiles erhöhen den Wert dieses Lehrbuches.

Der Verfasser beabsichtigt, in einem dritten Band die technische Anwendung der theoretischen Elektrotechnik darzustellen. Die gute Aufnahme, welche die beiden ersten Bände bei ihrem Erscheinen im Jahre 1940 fanden, erforderten jedoch vorerst die Herausgabe einer im wesentlichen unveränderten zweiten Auflage. W. Holzmüller

C. Zwikker, Technische Physik der Werkstoffe. VII und 230 Seiten. Mit 300 Abbildungen. Berlin 1942. Springer-Verlag. RM. 24,—.

Der Physiker, der dem Titel entsprechend eine ingenieurmäßige phänomenologische Beschreibung der Werkstoffeigenschaften erwartet, findet in diesem Buch eine äußerst reizvolle Festkörpertheorie, die zwar durch Außerachtlassung aller experimentellen Gesichtspunkte und Vernachlässigung aller Details im einzelnen nicht sehr weit führt, dafür aber eine ungewöhnlich geschlossene, einheitliche und verständliche Darstellung gewinnt. Eine solche Einheitlichkeit zu erreichen ist gewiß keine kleine Leistung bei der Vielfältigkeit der behandelten Eigenschaften, wie sie folgende Kapitelübersicht erkennen läßt: 1. Bausteine und Elementarkräfte, 2. Aufbau des festen Körpers, 3. Anisotropie, 4. Elastizität, 5. Mechanische Schwingungen, 6. Thermische Eigenschaften, 7. Strukturbedingte Eigenschaften, 8. Umwandlungen, 9. Nachwirkung und Dämpfung, 10. Elektronische Eigenschaften.

Dieses Inhaltsverzeichnis bedeutet zunächst nur eine Aussage über Fleiß und Vollständigkeit des Autors; wer aber das Büchlein aufmerksam durchliest, wird überall originelle oder didaktisch besonders glückliche Formulierungen des Verfassers finden, die ihm selbst in seinem engeren Fachgebiet noch fremd waren. Demgegenüber ist es unerheblich, wenn in der Fülle des Stoffes einige Änderungen oder Verbesserungen notwendig sein dürften. Zum Beispiel entspricht die Übersicht über Supraleiter (Tab. 1) dem Wissensstand vor fast einem Jahrzehnt, ebenso die Tabelle auf S. 16. Der Rarikonstantentheorie dürfte zuviel Aufmerksamkeit und Raum geschenkt sein; sie entspricht nach der quantenmechanischen Umstoßung der Ansicht über die Zentralkraftnatur der zwischen den Ionen wirkenden Kräfte auch nicht mehr den theoretischen Voraussetzungen. In der Tabelle über die Anzahl der Elastizitätskonstantenzahl auf S. 69 ist in der 3. Zeile „Hexagonal" zusammen mit „Trigonal" aufgeführt, während dem trigonalen System tatsächlich nicht 5, sondern 6–7 Konstanten zukommen (richtiger wird in der Tabelle S. 58 $N = 6$ angegeben). Solche Einzelheiten lassen sich in der zu erhoffenden Neuauflage leicht beseitigen.

Für eine Neubearbeitung dürfte der Wunsch ausgesprochen werden, daß der Autor die an sich glückliche Stoffbeschränkung etwas lockert, ja den Umfang annähernd verdoppelt; denn erst durch sinnvolle Einordnung und einheitliche Erklärung von nicht zu wenigen Einzelheiten gewinnt eine Gesamtdarstellung Wert. Andernfalls kann der Leser oft nicht genügend in die Tiefe dringen, und er würde dem Autor angesichts seiner glücklichen Darstellungsgabe für eine weitere Bereicherung dankbar sein. Der Verlag hat dem Buch seine gewohnt gute Ausstattung angedeihen lassen, was bei den kriegsbedingten Schwierigkeiten besonders hervorgehoben sei. Justi

NACHRICHTEN

Dozenturen: An der Deutschen Universität Prag Dr. Fritz Turba für Chemie, an der Universität Heidelberg Dr. Hermann Richtzenhain für Chemie, an der Universität Würzburg Dr. Karl Gailer für Physik, an der Deutschen Technischen Hochschule Prag Dr. Karl Steiner für chemische Technologie, an der Universität München Dr. Feodor Lynen für Chemie, an der Deutschen Technischen Hochschule Prag Dr. Karl Stellner für chemische Technologie, an der Universität Bonn Dr. Werner Meyer-Eppler für Physik, an der Universität Heidelberg Dr. Fritz Goos für Physik.

Ernannt: Der Dozent an der Universität Kiel Dr. Walter Lochte-Holtgreven kommissarisch zum Leiter des Lehrstuhls für Experimentalphysik daselbst, der Dozent Dr. Karl Heinrich Weise von der Universität Jena kommissarisch zum Leiter des Lehrstuhls für Mathematik an der Universität Kiel, der Dozent für Physik an der Universität Berlin Regierungsrat Dr. Eduard Justi zum außerplanmäßigen Professor für Kältephysik, technische Thermodynamik und Metallphysik daselbst, der ao. Professor an der Universität Erlangen Dr. Georg Nöbeling zum o. Professor für Mathematik ebenda, die Dozentin für Experimentalphysik an der Universität Graz Dr. Angelika Székely zur außerplanmäßigen Professorin ebenda, die Dozentin an der Universität München Dr. Elisabeth Dane zur Konservatorin daselbst, der außerplanmäßige Observator Dr. A. Bohrmann zum Observator auf der Landessternwarte auf dem Königstuhl bei Heidelberg, der Dozent an der Universität Göttingen Dr. Hans Lettré zum ao. Professor für Chemie und Abteilungsvorsteher an derselben Universität.

Berufen: Der ao. Professor für anorganische Chemie und Technologie an der Universität Göttingen Dr. Günther Rienäcker zum ao. Professor für anorganische Chemie an der Universität Rostock.

Vom Lehramt zurück: Der o. Professor der pharmazeutischen Chemie an der Universität Berlin Dr. Carl Mannich.

Gestorben: Der frühere etatmäßige Physiker im Reichsmarineamt Admiralitätsrat Dr. Hans Berggerow.

Verantwortlicher Schriftleiter: i. V. Dr. Ludwig Bewilogua, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany.